

Université de Montréal

# Motivation et culture en e-Learning

par

Emmanuel G. Blanchard

Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle  
Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)  
en Informatique

Juin, 2007

© Emmanuel G. Blanchard, 2007.



QA

76

U54

2007

V.025



## AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

## NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée :

Motivation et culture en e-Learning

présentée par :

Emmanuel G. Blanchard

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

El Mostapha Aboulhamid, président-rapporteur

Claude Frasson, directeur de recherche

Yann-Gaël Guéhéneuc, membre du jury

Guy Gouardères, examinateur externe

Jesús Vásquez-Abad, représentant du doyen de la FES

Thèse acceptée le 15 juin 2007



## Résumé

Les systèmes de e-Learning actuels possèdent deux limitations importantes : ils ne tiennent compte ni de la motivation des apprenants ni de leur culture. Or, ces deux facteurs ont un rôle très important à jouer dans le processus permettant aux systèmes de formation et particulièrement aux Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) de s'adapter au mieux aux apprenants.

Nos travaux visent à déterminer comment prendre en considération ces deux facteurs et développer des systèmes de e-Learning qui puissent les intégrer. Nous étudions donc les caractéristiques de la motivation et de la culture et montrons comment elles influencent la qualité de ce type de formation. Ceci nous conduit à proposer deux architectures modulaires, l'une améliorant la prise en compte de la motivation et l'autre permettant de considérer la culture. Ces architectures sont ensuite utilisées dans le développement d'un prototype de système multi-agents motivationnel et culturellement conscient.

Une première évaluation montre comment la motivation des apprenants peut être augmentée par l'utilisation de notre prototype, ce qui mène à une amélioration de la qualité de l'apprentissage.

Une deuxième évaluation met en évidence le fait qu'un apprenant peut effectivement rester concentré sur le sujet d'un apprentissage lors d'un cours ayant pour cadre notre prototype. Elle permet également de confirmer l'intérêt d'utiliser des mesures physiologiques pour estimer, en temps réel, l'état de motivation des apprenants.

**Mots-clés :** e-Learning, Systèmes Tutoriels Intelligents, motivation, culture, système multi-agents, modèle de l'apprenant.

## Abstract

Current e-Learning systems have two important limitations: they neither consider the motivation nor the culture of learners. Both of these factors have an important impact on the process that allows e-Learning systems, and particularly Intelligent Tutoring Systems, to adapt to learners in a relevant manner.

Our work aims at determining how these factors can be integrated in e-Learning systems. Therefore we study the specificities of motivation and culture and we describe how they influence the e-Learning process. This leads us to propose two modular architectures, the first enhancing the consideration of learners' motivation and the other enabling systems to be culturally aware. These architectures were used to develop a prototype of motivational and culturally aware multi agents system.

A first evaluation demonstrates how learners' motivation can be enhanced by the use of our prototype, which in turn improves the overall quality of learning.

We perform a second evaluation in order to corroborate that, during a learning session in the context of our prototype, a learner is able to stay focused on the learning task. Moreover, this evaluation confirms the positive interest of using physiological measurements to estimate, in real time, the learners' motivational state.

**Keywords:** e-Learning, Intelligent Tutoring Systems, motivation, culture, multi-agents system, learner model.

# Table des matières

<b>CHAPITRE 1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTE.....	1
1.2. PROBLÉMATIQUES .....	2
1.3. BUTS DE CETTE THÈSE .....	4
1.4. ORGANISATION DE LA THÈSE.....	5
<b>CHAPITRE 2. ÉTAT DE L'ART .....</b>	<b>7</b>
2.1. INTRODUCTION .....	7
2.2. LES SYSTÈMES TUTORIELS INTELLIGENTS (STI) .....	7
2.2.1. <i>Du e-Learning aux STI</i> .....	7
2.2.2. <i>Architecture des STI</i> .....	9
2.2.3. <i>Quelques axes de recherches de la communauté STI</i> .....	13
2.3. LA MOTIVATION .....	14
2.3.1. <i>Qu'est ce que la motivation?</i> .....	14
2.3.2. <i>Le domaine de la « motivation à réussir » (Achievement Motivation)</i> .....	17
2.3.3. <i>La théorie de l'autodétermination (Self Determination Theory : SDT)</i> .....	27
2.3.4. <i>Comment évaluer la motivation?</i> .....	31
2.3.5. <i>Motivation et e-Learning</i> .....	34
2.3.6. <i>De la pertinence d'utiliser la théorie de l'autodétermination en e-Learning</i> .....	47
2.3.7. <i>La gestion de la motivation : un processus culturellement variable</i> .....	48
2.4. LA CULTURE.....	49
2.4.1. <i>Qu'est ce qu'une culture?</i> .....	49
2.4.2. <i>Différencier les cultures nationales au moyen de systèmes de valeurs</i> .....	50
2.4.3. <i>Des variations culturelles pouvant affecter l'apprentissage</i> .....	52
2.4.4. <i>Quelques travaux liés au e-Learning et ayant considéré la culture</i> .....	55
2.5. CONCLUSION .....	59
<b>CHAPITRE 3. CONCEPTION D'UN SYSTÈME MOCAS .....</b>	<b>61</b>
3.1. INTRODUCTION .....	61
3.2. CONCILIER, AU NIVEAU INDIVIDUEL, MOTIVATION ET CULTURE.....	61
3.2.1. <i>Vers un modèle computationnel</i> .....	61
3.2.2. <i>Discussions sur ce modèle et limitations</i> .....	65
3.3. ASPECT MOTIVATIONNEL D'UN MOCAS.....	66
3.3.1. <i>Recommandations pour la conception motivationnelle d'un STI</i> .....	67

3.3.2. Un support à notre approche.....	69
3.3.3. Architecture modulaire pour un système de e-Learning motivationnel.....	70
3.3.4. Exemples d'interactions système-apprenant(s).....	73
3.3.5. Portée et application de nos recommandations.....	77
3.4. ASPECT CULTUREL D'UN MOCAS.....	79
3.4.1. Conception d'un système culturellement conscient.....	79
3.4.2. Une méthodologie culturelle pour l'adaptation du contenu multimédia en e-Learning.....	84
3.4.3. Une méthodologie culturelle pour la sélection de stratégies pédagogiques.....	92
3.5. CONCLUSION.....	93
<b>CHAPITRE 4. DÉVELOPPEMENT D'UN PROTOTYPE MULTI-AGENTS DE MOCAS.....</b>	<b>95</b>
4.1. AGENTS INTELLIGENTS ET SYSTÈME MULTI-AGENTS (SMA).....	95
4.2. SPÉCIFICATIONS DE NOTRE PROTOTYPE DE MOCAS.....	98
4.3. LA PLATEFORME MULTI-AGENTS JADE.....	100
4.3.1. Quelques spécificités de JADE.....	101
4.3.2. Le langage FIPA-ACL.....	103
4.4. ARCHITECTURE MULTI-AGENTS POUR MOCAS.....	104
4.4.1. L'aspect Serveur.....	105
4.4.2. L'aspect Client.....	108
4.5. QUELQUES PROTOCOLES DE COMMUNICATION MULTI-AGENTS PRÉSENTS DANS MOCAS.....	113
4.5.1. Enregistrement d'un nouvel apprenant.....	113
4.5.2. Connexion d'un apprenant au système.....	114
4.5.3. Sélection d'un agent pédagogique.....	115
4.5.4. Adaptation au niveau local.....	116
4.5.5. Mise en place de stratégies générales.....	117
4.6. OUTILS AUTEURS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE COURS AVEC MOCAS.....	119
4.6.1. La génération des environnements 3D.....	120
4.6.2. L'éditeur de curriculum.....	121
4.6.3. L'initialiseur d'agents pédagogiques.....	127
4.6.4. L'éditeur d'exercices.....	128
4.7. CONCLUSION.....	129
<b>CHAPITRE 5. ÉVALUATIONS.....</b>	<b>131</b>
5.1. ÉVALUATION MOTIVATIONNELLE DU PROTOTYPE DE MOCAS.....	131
5.1.1. Hypothèse.....	131
5.1.2. Description du « Situational Motivation Scale ».....	132
5.1.3. Description de l'échantillon et méthodologie.....	135

5.1.4. Résultats.....	137
5.1.5. Discussions .....	141
5.2. ÉVALUER LA MOTIVATION PAR L'ENTREMISE DE CAPTEURS PHYSIOLOGIQUES : UNE ANALYSE EXPLORATOIRE.....	144
5.2.1. Hypothèses.....	144
5.2.2. Introduction aux signaux physiologiques.....	145
5.2.3. Description de l'échantillon et méthodologie.....	153
5.2.4. Résultats.....	159
5.2.5. Discussions .....	171
5.3. RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DE NOS DEUX ÉVALUATIONS .....	176
<b>CHAPITRE 6. CONCLUSION.....</b>	<b>178</b>
6.1. CONTRIBUTIONS .....	178
6.2. TRAVAUX FUTURS .....	180
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>182</b>

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Types de régulation de la motivation selon la théorie de l'autodétermination .....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 2. Corrélations entre les éléments de l'échelle SIMS, la satisfaction des besoins fondamentaux et des conséquences de la motivation .....</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 3. Profil du groupe d'élèves interrogés dans l'étude 1. ....</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 4. Résultats obtenus aux trois questions supplémentaires de l'étude 1. ....</i>	<i>143</i>
<i>Tableau 5. Réponses aux questions du débriefing final de l'étude 2. ....</i>	<i>164</i>

## Liste des figures

<i>Figure 1. Architecture d'un STI .....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 2. Principaux axes de recherche dans le domaine de la motivation à réussir.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 3 : Diagramme des flots d'influence régissant les comportements d'un individu .....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 4. Architecture modulaire d'un système motivationnel de e-Learning.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure 5. Interrogation d'un M.E.P. par un apprenant au sujet d'un concept .....</i>	<i>74</i>
<i>Figure 6. Demande d'information par un apprenant sur un concept qu'un M.E.P. ne maîtrise pas.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 7. Suggestion par le système d'une stratégie pour encourager la motivation d'un apprenant .....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 8. Suggestion par le système d'une stratégie collaborative pour encourager la motivation d'apprenants.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 9. Architecture modulaire d'un système culturellement conscient .....</i>	<i>81</i>
<i>Figure 10. Exemple de patron culturel.....</i>	<i>85</i>
<i>Figure 11. Deux interprétations d'un patron culturel.....</i>	<i>86</i>
<i>Figure 12. Processus d'adaptation culturel de contenus multimédias dans un CAWAS.....</i>	<i>88</i>
<i>Figure 13. Méthodologie d'obtention du Score d'Intérêt Culturel pour une stratégie pédagogique.....</i>	<i>93</i>
<i>Figure 14. Interface de l'agent RMA de JADE (panneaux des agents DF et sniffer ouverts).....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 15. Architecture d'un prototype multi-agents de MOCAS.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 16. Interface graphique du prototype multi-agents d'un MOCAS.....</i>	<i>109</i>
<i>Figure 17. Différentes configurations d'affichage de contenu.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 18. Interface d'enregistrement .....</i>	<i>112</i>
<i>Figure 19. Protocole d'enregistrement d'un nouvel apprenant dans le système .....</i>	<i>113</i>
<i>Figure 20. Protocole de connexion d'un apprenant au système .....</i>	<i>114</i>
<i>Figure 21. Protocole de sélection d'un agent pédagogique.....</i>	<i>115</i>
<i>Figure 22. Protocole pour l'adaptation pédagogique locale.....</i>	<i>117</i>
<i>Figure 23. Protocole pour la mise en place d'une stratégie pédagogique générale.....</i>	<i>118</i>
<i>Figure 24. Méthodologie de création des mondes 3D de IBIS.....</i>	<i>120</i>
<i>Figure 25. Vue de l'interface de création de curriculum de IBIS .....</i>	<i>122</i>
<i>Figure 26. Vue montrant une sous-couche d'une unité d'apprentissage .....</i>	<i>124</i>
<i>Figure 27. Cheminement d'apprentissage dans le graphe multi-couches du curriculum .....</i>	<i>126</i>
<i>Figure 28. Extrait d'un fichier XML obtenu par l'utilisation de l'éditeur de curriculum.....</i>	<i>127</i>
<i>Figure 29. Initialiseur d'agent pédagogique et extrait de fichier XML en résultant.....</i>	<i>128</i>
<i>Figure 30. Interface de l'éditeur d'exercices .....</i>	<i>129</i>
<i>Figure 31. La Situational Motivation Scale .....</i>	<i>133</i>
<i>Figure 32. Élèves utilisant MOCAS dans le cadre d'un cours d'histoire. ....</i>	<i>136</i>
<i>Figure 33. Résultats au SIMS dans les pré tests et post tests. ....</i>	<i>138</i>

<i>Figure 34. Évolution des items en fonction du type de motivation.....</i>	<i>140</i>
<i>Figure 35. Signal du rythme cardiaque de trois apprenants différents.....</i>	<i>147</i>
<i>Figure 36. Représentation du système international 10-20 tiré de [Demos, 2005] .....</i>	<i>151</i>
<i>Figure 37. Vue de haut d'un monde virtuel 3D de MOCAS.....</i>	<i>154</i>
<i>Figure 38. Interfaces à divers moment durant le parcours d'un monde 3D dans le système MOCAS .....</i>	<i>155</i>
<i>Figure 39. Positionnement de différents capteurs physiologiques.....</i>	<i>157</i>
<i>Figure 40. Déroulement de la deuxième expérience .....</i>	<i>158</i>
<i>Figure 41. Résultats moyens aux questions de débriefing suivant chaque monde 3D .....</i>	<i>160</i>
<i>Figure 42. Conductivité de la peau (GSR) pour trois apprenants différents.....</i>	<i>167</i>
<i>Figure 43. Température de la peau (ST) pour trois apprenants différents .....</i>	<i>168</i>
<i>Figure 44. EEG, GSR et RESP lors de la lecture d'un texte sans contrainte temporelle.....</i>	<i>169</i>
<i>Figure 45. EEG, GSR et RESP lors de la lecture d'un texte avec contrainte temporelle.....</i>	<i>170</i>
<i>Figure 46. Modélisation dynamique de l'apprenant pour l'intégration de données physiologiques .....</i>	<i>174</i>



*A mes parents et grands parents.*

## *Remerciements*

J'aimerais, dans ces quelques lignes, remercier un certain nombre de personnes qui ont permis à ce travail d'exister dans la forme qui est sienne aujourd'hui.

En tout premier lieu, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon directeur, le professeur Claude Frasson, tout autant pour ses conseils avisés concernant la valorisation de mon sujet que pour m'avoir fait partager son expérience et ses nombreuses anecdotes concernant les différents aspects de la vie d'un chercheur en informatique.

J'adresse mes remerciements sincères aux membres du jury et en particulier à Monsieur Guy Gouardères pour le temps qu'ils ont su accorder à la lecture de ma thèse. Leurs commentaires précieux m'ont permis de bonifier significativement ce travail.

Je tiens aussi à remercier les membres passés et présents du laboratoire HERON. Discuter avec eux, parfois de manière animée, m'a souvent permis d'entrevoir les choses différemment tant dans le cadre de ma thèse que pour beaucoup d'autres sujets qui me tiennent à cœur. J'adresse une pensée particulière à Ryad Razaki et Pierre Chalfoun qui ont participé à certains travaux de cette thèse.

Je remercie également toutes ces personnes, ces amis, qui m'ont entouré durant ces quelques années passées à Montréal et qui ont rendu cette période de ma vie particulièrement agréable malgré les difficultés variées inhérentes à ma situation de doctorant.

Je pense enfin à mes parents, frères et grands parents qui m'ont donné le goût d'apprendre et la force de persévérer sans lesquels je n'aurais pu mener à bien mon projet.

A toutes ces personnes, un immense merci

# Chapitre 1. Introduction

## 1.1. Contexte

Comme le « e » dans son nom l'indique, le e-Learning, s'intéresse aux activités d'apprentissage assistés électroniquement, généralement par l'entremise de l'Internet et au moyen de nouvelles technologies. Ses intérêts et avantages sont multiples :

- Il permet de pallier le manque d'experts qualifiés par rapport à la demande d'enseignement dans certains domaines. Ainsi, la démographie et les progrès économiques de certains pays sont tels que les besoins en enseignement dépassent largement les ressources professorales disponibles. Les systèmes de e-Learning peuvent alors permettre à un enseignant de former plus d'élèves tout en maintenant, voir en améliorant la qualité de l'apprentissage.
- Il facilite également le transfert de connaissances et de savoir-faire à des apprenants distants ou isolés géographiquement. On peut ainsi penser aux systèmes de télémédecine permettant à un chirurgien d'assister un collègue dans une opération que ce dernier ne maîtrise pas.
- Il réduit drastiquement le coût horaire de la formation de personnel. Par exemple, la création de simulateurs est de plus en plus considérée dans des activités nécessitant l'emploi de machines coûteuses (et donc leur immobilisation à fins de formation).
- Il permet une limitation des risques inhérents à la formation dans certains domaines et dus aux erreurs commises par les apprenants. Par exemple, un pilote d'avion peut se former sur simulateur de vol et ne passer à une utilisation réelle qu'après qu'il ait développé un degré suffisant de maîtrise des instruments, procédures et commandes de vol.

À la vue du besoin sans cesse croissant de formation dans les sociétés modernes, le e-Learning apparaît donc non seulement comme une nouvelle forme d'enseignement

offrant de nombreux avantages mais également comme un impératif pour garantir la compétitivité.

Des solutions de plus en plus sophistiquées voient le jour en e-Learning au gré des évolutions théoriques et techniques en informatique (particulièrement en intelligence artificielle et en interactions homme-machine), en réseautique, en psychologie, en pédagogie. Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) constituent actuellement la forme la plus évoluée d'applications de e-Learning, leur objectif étant d'adapter l'apprentissage qu'ils fournissent aux spécificités d'un apprenant.

L'utilisation du e-Learning se développe de plus en plus dans de grandes entreprises. Il s'est également imposé dans certaines universités plus classiques par l'emploi d'outils de mise en ligne de contenu ne permettant pas vraiment d'enseignement adaptatif et donc bien plus limités que les STI. Le plus connu de ces logiciels est sans doute WEB-CT. Ce dernier logiciel présente de nombreuses faiblesses : il est par exemple incapable d'analyser les réactions des apprenants, leurs erreurs... Par ailleurs, l'utilisation du e-Learning par le grand public demeure encore marginale.

## **1.2. Problématiques**

De manière générale, l'insertion du e-Learning dans la pratique collective se fait difficilement. L'une des raisons à l'origine de cette lenteur est qu'il génère de la crainte parmi les enseignants et formateurs qui voient en lui un concurrent plutôt qu'un outil leur permettant de faciliter leur tâche.

Une autre hypothèse situe le problème au niveau même des usagers : les systèmes de e-Learning actuels n'arrivent pas à motiver convenablement ces derniers. Plusieurs de ces systèmes produisent une réaction émotionnelle particulièrement négative chez leurs utilisateurs [O'Regan, 2003]. Or les émotions détectées sont fréquemment reliées à un manque de motivation [Weiner, 1985]. Si, comme nous le verrons par la suite, des recherches sur la détection et l'induction de la motivation dans les systèmes de e-Learning ont commencé à être entreprises, personne ne s'est encore posé la question de savoir s'il

existait des points à favoriser (ou à éviter) durant la phase de conception de ces même systèmes afin de les rendre naturellement motivants.

Le e-Learning se caractérise également par un élément jusqu'à maintenant peu abordé par la recherche. Participant du processus de mondialisation des échanges d'information, notamment en tirant profit des possibilités offertes par l'Internet, le e-Learning permet de supprimer les distances et frontières entre individus. Si cet aspect présente un intérêt certain en terme d'échanges de points de vue, d'ouverture d'esprit des apprenants et donc d'enrichissement personnel, un risque d'uniformisation de l'enseignement en fonction d'un modèle culturel dominant est également possible. Cela pourrait s'avérer particulièrement néfaste à l'apprentissage dans certains cas et pourtant, ce point est quasi-occulté des recherches actuelles en e-Learning.

Du fait que la majeure partie des recherches se font en occident, il faut sérieusement considérer le risque que les valeurs et principes développés et appliqués dans les pays occidentaux ne s'imposent unilatéralement comme normes internationales dans les systèmes de e-Learning. Ce phénomène est déjà fortement documenté et critiqué dans l'enseignement classique car il se produit au détriment de pratiques locales souvent bien plus adaptées aux individus [Biggs, 2001].

On pourrait ainsi aboutir à des systèmes de e-Learning proposant des méthodologies et ressources pédagogiques ne convenant ni au profil ni à la réalité du contexte socio-culturel de nombreux apprenants. Beaucoup d'éléments reliés au e-Learning varient culturellement : l'expression et la compréhension des émotions, la réactivité aux tests et à des stratégies pédagogiques, la signification donnée à des termes spécifiques, à des symboles. L'utilisation d'éléments culturellement inappropriés dans le e-Learning risque d'avoir un effet catastrophique sur l'impression que renvoie un logiciel de formation à ses utilisateurs, ceux-ci pouvant alors penser, à raison, que le système ne leur est pas destiné. L'établissement d'une relation de confiance, d'une certaine proximité entre un tuteur (dans notre cas, un système de e-Learning) et un apprenant, est pourtant un facteur reconnu comme important dans le succès d'un apprentissage.

La culture affecte, par ailleurs, plusieurs éléments sur lesquels se basent les méthodes de détection de la motivation mises au point jusqu'à présent (par exemple les émotions). Comme on l'a dit précédemment, les questions culturelles étant absentes des recherches en e-Learning, ces influences n'ont pas été considérées dans ces différentes techniques de détection. De plus, beaucoup de ces méthodes, développées et testées dans des contextes expérimentaux, s'appuient sur des questionnaires que doivent remplir les apprenants. Si l'on désire fournir de l'adaptation en temps réel au sein de systèmes de e-Learning comme les STI, l'application de ces techniques va nécessairement perturber la dynamique d'une session d'apprentissage du fait de pauses fréquentes pour évaluer/mettre à jour le niveau de motivation de l'apprenant, ceci pouvant affecter l'état motivationnel des apprenants.

### **1.3. Buts de cette thèse**

Notre but dans cette thèse est de combler certaines lacunes des systèmes de e-Learning : on veut en particulier proposer de nouvelles méthodes qui tiennent compte de la motivation et de la culture dans le cadre de systèmes de e-Learning.

De façon plus précise, nous souhaitons :

- explorer les principales théories de motivation,
- extraire de ce précédent point des éléments à même de mener à des recommandations de conception qui permettraient le développement de système de e-Learning ayant un impact motivationnel positif,
- comprendre en quoi et comment la culture agit dans les processus d'apprentissage liés au e-Learning,
- réfléchir à une méthode de modélisation des spécificités culturelles d'un apprenant dans un système de e-Learning
- proposer des processus d'adaptation culturelle en fonction du modèle culturel d'un apprenant obtenu précédemment,

- étudier les problèmes des techniques actuelles de détection de la motivation utilisées en e-Learning,
- réfléchir à de nouvelles approches permettant de corriger ces problèmes et en identifier les avantages et inconvénients.

De plus, nous avons remarqué le problème suivant : si beaucoup de recherches sont menées dans le domaine du e-Learning et des STI, les systèmes développés pouvant être adaptés pour de nouvelles recherches hors de leur laboratoire d'origine sont actuellement rares. Ainsi, un chercheur voulant se concentrer essentiellement sur une problématique précise aura rarement à disposition un système déjà existant. Un objectif secondaire de cette thèse est donc de fournir à la communauté des chercheurs en e-Learning un STI en accès libre.

## **1.4. Organisation de la thèse**

Dans le chapitre suivant, nous présentons l'état de l'art des trois domaines importants de cette thèse. Nous commençons par discuter des caractéristiques spécifiques des logiciels de e-Learning les plus évolués : les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI). Puis nous présentons l'état des recherches en motivation ainsi que celles concernant la culture.

Dans le chapitre 3, nous présentons les caractéristiques des solutions que nous proposons pour permettre de tenir compte, d'une part, de la motivation dès la phase de conception d'un système de e-Learning et, d'autre part, de la modélisation de spécificités culturelles des apprenants.

Nous décrivons, dans le chapitre 4, un prototype de système de e-Learning multi-agents qui implémente les solutions retenues dans le précédent chapitre. Pour faciliter la création de cours avec ce prototype, plusieurs outils auteurs ont également été développés. Ils sont aussi détaillés dans ce chapitre.

Le chapitre 5 présente deux évaluations que nous avons menées au moyen du prototype développé. La première vise à confirmer que notre prototype produit bien l'effet motivationnel escompté sur des apprenants. Dans la deuxième évaluation, nous étudions

l'intérêt d'utiliser des données physiologiques pour mesurer en temps réel l'état de<sup>6</sup> motivation d'un apprenant. Les résultats de cette deuxième étude confirment également qu'en plus d'avoir un effet bénéfique sur la motivation des apprenants, notre prototype ne nuit pas à la capacité de concentration des apprenants envers une activité d'apprentissage.

En conclusion, nous résumons les apports de cette thèse, les limitations de nos recherches avant de parler des travaux que nous prévoyons effectuer dans le futur, afin d'améliorer nos différentes méthodologies.



## Chapitre 2. État de l'art

### 2.1. Introduction

Le présent état de l'art se divise en trois parties.

Dans la première, nous discutons du domaine du e-Learning en général pour en venir à décrire plus particulièrement les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI).

La seconde partie a pour vocation de présenter l'état des connaissances sur la motivation, notamment en ce qui concerne la motivation à réussir dans une tâche d'apprentissage qui est l'axe de recherche principal de cette thèse. On commence par survoler les différentes approches et théories de *motivation à la réussite* actuellement reconnues en psychologie. On présente ensuite des travaux considérant la motivation en e-Learning, principalement par l'intermédiaire de STI.

Les recherches en motivation nous montrent qu'établir un bon diagnostic ou décider de l'action motivationnelle à poser nécessite fréquemment de prendre en considération le profil et le contexte culturel des apprenants. La dernière partie de cet état de l'art vise donc à renseigner le lecteur à propos des théories et méthodologies interculturelles les plus reconnues. Là encore, on terminera cette partie en présentant quelques systèmes de e-Learning s'intéressant à la culture.

### 2.2. Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI)

#### 2.2.1. Du e-Learning aux STI

La dernière décennie du XXème siècle a été marquée par une forte évolution de sociétés des pays industrialisés : l'avènement de l'informatique grand public et notamment de l'Internet, « réseau des réseaux », a marqué un profond bouleversement dans les relations humaines. Nombre d'activités tentent depuis de tirer parti des possibilités offertes par l'Internet et se sont adaptées à ce medium dans un souci de productivité, d'amélioration

du service ou encore d'accès au plus grand nombre. On peut notamment parler de e-Commerce, de e-Gouvernement et aussi de e-Learning.

Ainsi, le e-Commerce s'intéresse à l'achat, la vente et l'échange de produits, qu'il s'agisse de biens ou de services, et la gestion des transactions qui en découlent aux travers de réseaux de télécommunication [Turban et al., 2002]. Le e-Gouvernement concerne *« l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) par les administrations publiques afin de rendre les services publics plus accessibles aux citoyens et aux entreprises et afin d'améliorer le fonctionnement interne de l'État »* [URL1]. Le e-Learning (aussi appelé e-Formation), pour finir, concerne une méthode d'acquisition d'un savoir ou de construction de connaissance utilisant des interactions (acteur - acteur ou acteur - ressource) relayées par un système télématique (électronique, informatique connecté par réseaux).

Pour autant, ces différentes « e-activités » ne connaissent pas actuellement la même réussite. Si le e-Commerce génère des profits toujours plus importants au fil des années, si le e-Gouvernement est de plus en plus mis sur le devant de la scène (par exemple en mars 2006, les électeurs estoniens ont pu, pour la première fois au monde, voter sur Internet pour élire leur parlement), le e-Learning peine encore à trouver sa place auprès du grand public. Son efficacité a pourtant été démontrée à plusieurs reprises, parfois de manière impressionnante : il a été prouvé que des techniciens en maintenance aéronautique effectuant 20 heures de formation sur le système SHERLOCK [Lesgold et al., 1992] obtiennent le niveau théorique de techniciens formés pendant 4 ans de manière classique. Quelle peut être la raison de ce manque d'engouement populaire?

On peut déjà remarquer que le e-Learning est un concept relativement vaste, englobant des pratiques et systèmes très variés, et que la définition qui en est donnée demeure parfois floue, voire erronée. Avant d'aller plus loin, il apparaît donc utile de bien expliquer de quoi il est question.

Beaucoup pensent ainsi que le e-Learning ne consisterait simplement qu'à mettre sur l'Internet des supports de cours ou des applications d'évaluation de connaissances (sous forme de QCM informatisés par exemple). Même si on peut effectivement classer ce genre

d'éléments dans le domaine du e-Learning, cette vision est très réductrice et nous renvoie aux systèmes d'*Enseignement Assisté par Ordinateur* (EAO) des années 60-70. Très rapidement après l'invention de l'ordinateur, les capacités de ce dernier furent utilisées dans un objectif pédagogique. Or, depuis le début des années 80, l'EAO a évolué significativement en ce que l'on nomme fréquemment *l'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur* (EIAO). Si l'EAO s'intéressait exclusivement aux données (transmission de l'information à apprendre), l'EIAO tente elle d'orienter l'apprentissage en fonction de l'apprenant : on veut ainsi comprendre le raisonnement de l'étudiant, les raisons de ses erreurs, ses préférences pédagogiques... de manière à adapter l'enseignement en fonction de particularités propres à cet individu. Pour atteindre cet objectif, l'EIAO s'est rapidement affirmé comme un domaine fortement multidisciplinaire. Les avancées en EIAO profitent en effet des derniers développements dans les secteurs de l'informatique (intelligence artificielle, téléinformatique, interfaces homme - machine, représentation des connaissances), de la psychologie, de la pédagogie (avec, dans ces deux derniers cas, une nette préférence pour les approches cognitivistes et constructivistes), de la communication, voir de l'anthropologie. SCHOLAR [Carbonell et al., 1979], un système qui enseigne la géographie d'Amérique du Sud est considéré par beaucoup comme le premier système d'EIAO développé.

Pour résumer, en e-Learning, on peut distinguer notablement deux niveaux de complexité pour les applications : d'une part les systèmes dérivés de l'EAO ne proposant aucune adaptation en fonction de l'apprenant, d'autre part ceux dérivés de l'EIAO cherchant à comprendre l'apprenant pour fournir la meilleure réponse possible à ses besoins pédagogiques. Ces derniers systèmes sont communément appelés *Systèmes Tutoriels Intelligents* (STI). Dans ce qui suit, nous discutons du fonctionnement classique d'un STI.

### **2.2.2. Architecture des STI**

L'architecture habituellement acceptée des STI se compose de quatre modules : le curriculum, le modèle de l'apprenant, le planificateur et le tuteur. Ces quatre modules collaborent pour fournir, comme nous l'avons dit précédemment, un enseignement adapté aux besoins spécifiques d'un apprenant. La figure 1 présente la structure type d'un STI.

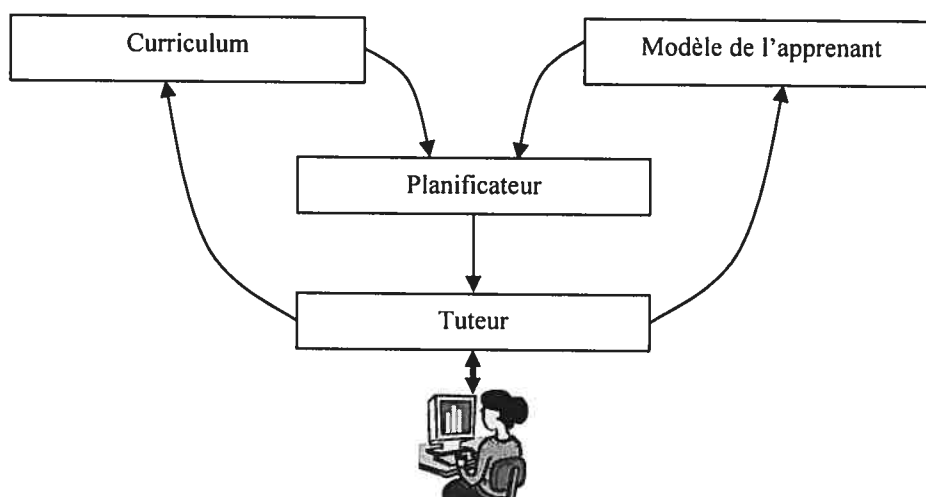


Figure 1. Architecture d'un STI

Nous désignons ici par « module » une entité relativement abstraite ayant pour but de fournir une fonctionnalité spécifique au sein d'un STI (on pourrait tout aussi bien parler de mise à disposition d'un service). Dans les faits, l'implémentation des STI n'établit pas toujours de frontières très précises entre les différents modules : les fonctionnalités propres à un module peuvent ainsi se voir réparties entre plusieurs entités logicielles. Voyons cependant en quoi consiste chacun de ces quatre modules.

### Le curriculum

Le *curriculum* contient l'information relative à la matière enseignée. Cette information doit être organisée de façon à être facilement utilisable par les autres modules du STI (voir figure 1).

Historiquement, l'utilisation de règles de production fût la première méthode employée pour représenter les informations d'un domaine. Ainsi GUIDON [Clancey, 1983], STI développé sur la base des règles de production du célèbre système expert MYCIN (voir [Buchanan, Shortliffe, 1985]), avait vocation à fournir des cours portant sur le domaine médical. Par la suite, l'idée d'utiliser des graphes conceptuels pour le curriculum s'est également popularisée. Dans ces graphes, les nœuds sont des concepts, les liens explicitant les relations existant entre différents concepts. Nkambou et ses collègues [Nkambou et al., 1997] ont notamment proposé un graphe conceptuel multicouche nommé CKTN (Curriculum Knowledge Transition Network) représentant, sur trois graphes inter-

reliés, les capacités, les objectifs pédagogiques ainsi que les ressources didactiques propres à un domaine d'apprentissage. CKTN permet ainsi de combiner, dans un même curriculum, la matière à enseigner à ses méthodologies didactiques (la didactique regroupe les méthodes pédagogiques spécifiques à l'enseignement d'un domaine : la didactique des mathématiques est ainsi très différente de la didactique de la géographie). On peut également utiliser des graphes particuliers appelés *ontologie*. Dans notre cas, on définit une ontologie comme « *un système conceptuel qui permet de partager et de réutiliser des concepts grâce à une sémantique computationnelle [...] Une ontologie orientée Concept traite des concepts fondamentaux du monde-cible qui demandent à être examinés en profondeur* » [Mizoguchi, Bourdeau, 2004].

### **Le modèle de l'apprenant**

Comme son nom l'indique, le *modèle de l'apprenant* doit fournir des informations en lien avec l'apprenant. Il renseigne ainsi sur le niveau de connaissances de l'apprenant sur la matière et, en fonction de la complexité du modèle, sur un certain nombre des particularités de cet apprenant. On peut ainsi chercher à représenter les préférences pédagogiques de l'apprenant, son parcours d'apprentissage, son état émotionnel.

Les techniques utilisées pour le développement du modèle de l'apprenant sont très variées. Cependant, il existe souvent un lien entre la méthode employée pour implémenter le curriculum et celle utilisée pour le modèle de l'apprenant, notamment en ce qui concerne la représentation du niveau des connaissances de l'apprenant. On peut ainsi parler de la technique dite du modèle de recouvrement (« *overlay* ») consistant à utiliser la structure du curriculum et à apposer des « drapeaux » sur les concepts maîtrisés par l'étudiant. Les réseaux bayesiens sont également très prisés pour représenter le profil d'un apprenant. Conati utilise notamment cette technique pour illustrer l'état émotionnel d'une personne [Conati, 2002].

Comme on peut s'en rendre compte, le modèle de l'apprenant est généralement vu comme une structure de données périodiquement mise à jour. Cependant, McCalla et ses collègues [McCalla et al., 2000] proposent une toute autre approche où le modèle de

l'apprenant est considéré comme une fonction calculée uniquement si nécessaire. On parle dans ce cas de *modèle de l'apprenant actif* (« active learner model »).

### **Le planificateur**

Le *planificateur* a la charge d'établir un plan de cours pour l'apprenant. Comme on le voit sur la figure 1, le planificateur utilise des informations fournies par le curriculum et le modèle de l'apprenant pour réaliser cet objectif.

L'objectif de planification peut être discuté à deux niveaux :

- au niveau général, on cherche à établir un plan pour l'enseignement de l'ensemble du domaine : quels sont les concepts clés, dans quel ordre les faire se succéder;
- à un niveau plus local, on fournit les éléments permettant d'enseigner un concept donné : quelles ressources utiliser, quelle masse d'information fournir à chaque fois, quelle forme devrait prendre cette information.

Le module de planification utilise les données obtenues du modèle de l'apprenant (le profil de ce dernier) pour faire des choix parmi les éléments d'apprentissage disponibles proposés par le curriculum. Là encore, la représentation et l'organisation des connaissances dans le curriculum est prépondérante pour l'implémentation du module de planification.

### **Le tuteur**

Dans l'idée des STI que nous choisissons, le *tuteur* joue le rôle d'interface entre le système et l'apprenant (on parle ici d'interface en terme général, sans se restreindre à l'aspect graphique uniquement). Ce module tuteur a ainsi deux objectifs :

- détection : il doit permettre d'obtenir des informations sur l'apprenant et les transmettre au modèle de l'apprenant pour permettre la mise à jour de ce dernier;
- action : il doit mettre en application, au moyen de son interface graphique, les décisions prises dans le module de planification en s'inspirant pour cela d'une stratégie d'apprentissage.

En dehors de la stratégie pédagogique de base où l'apprentissage survient par l'interaction de l'apprenant avec un tuteur virtuel, un STI dispose d'un certain nombre de stratégies d'apprentissage spécifiques. On peut ainsi adjoindre un compagnon simulé à un apprenant simulé [Chan, 95]. Ce compagnon peut, à l'occasion, prendre le rôle de perturbateur [Aïmeur et al., 2001], cherchant alors à contredire l'apprenant pour forcer ce dernier à remettre en question sa réflexion. Le compagnon peut également demander à l'apprenant humain de lui expliquer des éléments du domaine d'apprentissage. L'apprenant prend alors un rôle de tuteur [Chan, 95], ce qui l'oblige à organiser son savoir pour mieux le transmettre. On peut également imaginer toute sorte de configurations où un apprenant est mis en présence de plusieurs entités virtuelles à la fois (tuteurs ou compagnons).

### **2.2.3. Quelques axes de recherches de la communauté STI**

La recherche visant au développement des STI est très variée et prolifique. Certains s'intéressent ainsi aux problèmes propres à l'apprentissage collaboratif [Vassileva, 2004; Kay et al., 2006], à la modélisation cognitive ou émotionnelle de l'apprenant [Conati, 2002; Aleven et al., 2004; Minko, Gouardères, 2004; Chaffar, Frasson, 2004; Dubois et al., 2006] ou encore au développement d'outils auteurs [Murray et al., 2003]. Donner des capacités de « décision intelligente » aux STI demeure également l'un des objectifs fondamentaux et l'apprentissage machine est l'une des techniques les plus employées pour tenter d'atteindre ce but [Baker et al., 2004; Hämmäläinen, Vinni, 2006].

Cependant, les méthodologies, aussi évoluées soient-elles, peuvent difficilement favoriser l'apprentissage s'il y a une désaffection généralisée pour le système qui les met en œuvre. O'Regan a présenté une étude assez accablante à ce sujet [O'Regan, 2003]. Ainsi, certains logiciels de e-Learning produisent nettement plus fréquemment des émotions négatives (telles que la frustration, la peur, la honte, l'anxiété et l'embarras) que positives (comme l'excitation ou la fierté) chez les apprenants. Par ailleurs, les émotions négatives en question (notamment l'anxiété) sont souvent associées à un manque de motivation [Weiner, 1985; Kuhl, 1987]. Ces résultats sont d'autant plus préoccupants qu'il est établi que nombre d'activités en lien avec les ordinateurs profitent pourtant d'un a priori motivationnel positif (par exemple, Wagner a mis en évidence que surfer sur l'Internet ou encore, jouer à des

jeux vidéo sont des activités qui ont un grand pouvoir d'addiction [Wagner, 1999]). Il semble donc évident que l'aspect motivationnel des systèmes de e-Learning n'est pas toujours suffisamment considéré. La communauté STI s'en est récemment émue, la motivation devenant un sujet important de recherche dans les dernières années comme le prouve le nombre grandissant de travaux sur ce sujet présentées dans des conférences renommées (Artificial Intelligence in Education, AIED 2005; Intelligent Tutoring Systems, ITS 2006).

La partie suivante de cet état de l'art vise à fournir au lecteur les notions théoriques nécessaires à la compréhension des processus motivationnels. Par la suite, nous présentons quelques-uns des travaux les plus marquants visant à prendre en considération la motivation dans le e-Learning, notamment par l'intermédiaire de STI.

## **2.3. La motivation**

### **2.3.1. Qu'est ce que la motivation?**

*Motivation* est un terme commun du langage. Mais que sous-entend-il? Est-ce que motivation et intérêt sont des concepts synonymes comme on le pense souvent? Dewey, philosophe américain du début du siècle tendait vers cela. Ainsi, il remarqua que l'intérêt et le plaisir étaient des forces motivationnelles puissantes et, concernant le problème spécifique de l'apprentissage, il affirma que les gens ne seraient totalement absorbés par la matière à apprendre que s'ils étaient suffisamment intéressés par celle-ci [Dewey, 1913].

Cependant, relier simplement motivation et intérêt n'est pas satisfaisant pour les chercheurs en motivation d'aujourd'hui. On peut très bien motiver un individu pour une activité sans que celle-ci ne l'intéresse. Ainsi, tout le monde a en mémoire cette image d'un paysan, assis sur son âne, l'incitant à avancer en lui montrant une carotte accrochée au bout d'un bâton. L'âne n'est pas vraiment intéressé par l'activité de marcher. Pourtant il avance, tentant par le fait même d'atteindre la carotte (nous verrons par la suite que l'on parle ici de motivation extrinsèque).



De nos jours, la communauté des chercheurs en motivation a à peu près abouti à un consensus pour définir la motivation. Par exemple, selon Petri [1996], la motivation est :

*“The concept we use when we describe the forces acting on or within an organism to initiate and direct behavior”.*

Il remarque aussi que le concept de motivation est utilisé pour indiquer l'intensité d'un comportement et son objectif aussi appelé direction (*“when we are hungry, we direct our behavior in ways to get food”*). Dans le même ordre d'idées, Ryan et Deci [Ryan, Deci, 2000a] avancent que :

*“To be motivated means to be moved to do something. A person who feels no impetus or inspiration to act is thus characterized as unmotivated, whereas someone who is energized or activated toward an end is considered motivated”.*

S'inspirant de ces deux visions, pour la suite de ce document, nous donnons la définition suivante de la motivation :

*La motivation est l'ensemble des forces/énergies qui poussent un individu à agir et/ou lui permettent de contrôler et réguler ses comportements.*

Dans notre recherche, nous sommes plus particulièrement concernés par la motivation des apprenants pour des tâches d'apprentissage (et plus spécifiquement de e-Learning). Considérer des sources de motivation telles que la fin, la soif, le désir sexuel ou encore la volonté d'échapper à la douleur, ne serait pas d'une grande utilité dans les problèmes de motivation liés à l'apprentissage. Ainsi des théories généralistes de motivation dérivant de l'approche psychanalytique de Sigmund Freud telles que la hiérarchie des besoins de Maslow [1970] n'ont qu'un intérêt limité dans le problème qui nous préoccupe comme le résume bien Weiner [1984] :

*“It surely seems unlikely that much of classroom behaviour is governed by the sexual and aggressive instincts [...], so the psychoanalytic approach offers relatively little theoretical help. In a similar manner, theories that*

*focus on the reduction of biological needs and the survival relevance of behaviour also are far removed from classroom concerns. “*

La **motivation à réussir** (« *Achievement Motivation* »), un sous domaine des recherches en motivation, est plus susceptible de répondre à nos attentes. Les recherches dans ce domaine tentent d'expliquer les choix de tâches des individus, la persistance de ceux-ci dans ces tâches, la vigueur qu'ils mettent dans leur réalisation et la qualité de l'engagement dans ces tâches [Eccles & Wigfield, 2002].

Dans les parties qui suivent, nous dressons le portrait de ce sous domaine, en partant des travaux originels pour aboutir aux théories les plus couramment utilisées de nos jours.

Nous décrivons plus en détail la **théorie de l'autodétermination** [Deci & Ryan, 1985; Ryan & Deci, 2000a; Ryan & Deci, 2000b], une théorie récente qui gagne de plus en plus en popularité. Cette théorie reprend à son compte un ensemble de concepts introduits dans les théories que nous aurons présentées auparavant et les intègre dans une vue de la motivation. Nous pensons que l'approche de la motivation décrite dans cette théorie est particulièrement intéressante pour le e-Learning car elle fournit un cadre théorique pour motiver les apprenants quel que soit leur profil culturel. Par ailleurs, dans beaucoup de cas, un apprenant ne fera pas une activité de e-Learning pour le plaisir que lui procure cette activité. Or la théorie de l'autodétermination s'intéresse notamment à l'amélioration de l'engagement d'un apprenant pour ce genre d'activité (qui n'est pas fascinante en soi).

Après quoi, nous présentons rapidement les principes et limitations des techniques généralement employées pour mesurer la motivation, à savoir la méthodologie de libre de choix et les questionnaires, notamment ceux d'auto-évaluation.

Pour finir cet état de l'art sur la motivation, nous décrivons des travaux qui visent à considérer la motivation dans le cadre du e-Learning et des STI. Nous mentionnons donc le système MORE portant sur le développement d'un planificateur motivationnel [Del Soldato, Du Boulay, 1995], le système MOODS s'intéressant à la détection de l'état motivationnel d'un apprenant [De Vicente, 2003], les adaptations du système ECOLAB, soit pour étudier la prise en compte des buts individuels en e-Learning [Martinez-Miron et

al., 2005], soit en y adjoignant un compagnon virtuel à but motivationnel [Rebolledo-Mendez et al., 2006], le système EDUCE et sa conception des éventualités à but motivationnel [Kelly, Weibelzahl, 2006] ainsi que des travaux sur la détection du sentiment d'auto efficacité [McQuiggan, Lester, 2006] et sur la considération des expériences de Flot en e-Learning [Pearce, 2005].

### 2.3.2. Le domaine de la « motivation à réussir » (Achievement Motivation)

#### Historique des recherches sur la « motivation à réussir »

Rotter [1966], dans une des premières théories concernant la motivation à réussir, introduisit un bon nombre d'éléments dont s'inspirèrent énormément les travaux suivants. Parmi les notions qu'il définit, on peut citer :

- les **espérances** (« *expectancy* ») : cela concerne la représentation mentale qu'a un individu des résultats qu'il souhaite obtenir dans l'activité;
- les **valeurs** (« *values* ») : cela consiste à attribuer une valeur aux activités selon la désirabilité qu'elle provoque chez l'individu;
- les **locus de contrôle** (« *locus of control* ») : il s'agit ici de déterminer si l'activité est sous le contrôle personnel de l'individu (le locus de contrôle est alors interne) ou sous le contrôle d'un élément extérieur (le locus de contrôle est externe).

Atkinson [1966] travailla également sur les notions de valeurs et d'espérances. Dans ses recherches, il utilisa notamment des tests d'anxiété pour modéliser la tendance à éviter l'échec des apprenants. L'anxiété est un élément fondamental des recherches en motivation à la réussite. Dans le même ordre d'idées, Spielberger [1966] distingua l'**anxiété naturelle** d'un individu (« *trait anxiety* » : une caractéristique stable d'un individu, en lien avec un peu toutes les situations) de l'**état d'anxiété** (dépendant du temps et lié à une tâche). Il développa notamment une échelle pour mesurer l'anxiété encore utilisée de nos jours. Liebert et Morris [1967] tentèrent de différencier deux aspects dans l'anxiété : l'**aspect cognitif** (le fait de se soucier de quelque chose) et l'**aspect émotionnel** (la dimension physiologique de l'anxiété).

Même si les conclusions auxquelles ont abouti Rotter et Atkinson ont été en partie remises en cause, leurs travaux respectifs ont fortement inspiré les recherches modernes concernant la motivation à la réussite des individus.

La recherche sur la motivation à réussir est prolifique et il existe un grand nombre de théories modernes en lien avec ce domaine. Ces dernières ont en commun d'être en accord avec le modèle social cognitif proposé par Bandura [1986]. Ce modèle postule que la motivation à réussir de tout personne dépend des interactions entre le comportement de cet individu, ses facteurs personnels (comme ses pensées, ses croyances) et des conditions environnementales [Eccles, Wigfield, 2002]. Les différentes théories de motivation à la réussite sont complémentaires les unes des autres sur un certain nombre de points. Plusieurs axes de recherche majeurs se sont ainsi démarqués et ont contribué à l'élaboration de la théorie de l'autodétermination que nous utilisons dans nos recherches. La figure 2 présente les principaux axes de recherches et théories abordés dans le domaine de la motivation à réussir selon que les concepts qui y ont été étudiés ont directement influencé le développement de la théorie de l'autodétermination (traits pleins) ou de manière moins flagrante (traits pointillés).



- *Que dois-je faire pour réussir dans cette tâche?*

Dans ce qui suit, nous passons brièvement en revue les principales théories qui tentent de répondre à ces différentes questions.

### **La théorie de l'attribution (Attribution Theory)**

La théorie de l'attribution (« *Attribution Theory* », [Weiner, 1985]) a dominé le domaine de la motivation à réussir durant les vingt dernières années. Elle met l'accent sur les interprétations que donne un individu de ses résultats dans une activité. On parle ici de mécanisme d'attribution causale car on tente de déterminer les causes d'un résultat. Weiner classe ces causes en fonction de trois dimensions :

- la **stabilité**. Cette dimension détermine si la cause d'un résultat peut évoluer au fil du temps (cause instable) ou non (cause stable). Par exemple, les capacités d'un individu dans une tâche donnée sont vues comme des causes stables et internes alors que ses efforts sont qualifiés d'instables et internes.
- le **locus de contrôle**. Dérivé des travaux de Rotter [1966], il peut être interne (la personne considère qu'elle est à l'origine de son résultat) ou externe (la personne attribue son résultat à un élément extérieur).
- la **contrôlabilité**. Cette dimension distingue les causes que l'on peut contrôler, améliorer volontairement comme l'adresse ou encore l'efficacité, de celles qui sont incontrôlables telles que les aptitudes, l'humeur, les actions des autres, la chance.

Par ailleurs, ces trois dimensions ont des influences sur différents aspects du comportement :

- la stabilité influence l'espérance de succès d'un individu dans une tâche. Si un résultat est attribué à une cause stable, un tel résultat pourrait être reproduit (donc l'espoir d'un succès futur serait amélioré). Nombre de chercheurs pensent que les espérances de succès dans une activité ont une influence dans le fait de choisir cette activité plutôt qu'une autre.

- le locus de contrôle est relié plus spécifiquement aux réactions affectives. Ainsi, comme l'expliquent Eccles et ses collègues [Eccles et al., 1998] :
  - attribuer un succès à une cause interne (« j'ai réussi parce que je suis doué ») devrait améliorer la fierté et l'estime de soit;
  - attribuer un succès à une cause externe (« j'ai réussi grâce à son aide ») devrait produire de la gratitude;
  - attribuer un échec à une cause interne (« j'ai échoué parce que je suis mauvais ») produirait de la honte;
  - attribuer un échec à une cause externe (« j'ai échoué car il m'a mal conseillé ») produirait de la colère.
- la contrôlabilité est reliée au fait de pouvoir recevoir une aide. On sera plus tenté d'aider un individu si son échec est du à une cause qu'il ne contrôlait pas (« je n'ai pas fait mes devoirs car ma maison a brûlé ») que si son échec est du à une cause qu'il contrôlait (« je n'ai pas fait mes devoirs car j'ai été au cinéma »).

L'étude de la causalité des résultats (ce à quoi est attribué le succès ou l'échec dans une tâche) est importante en motivation car ces causes auront une incidence sur les comportements et la motivation à réussir dans les activités futures d'un individu.

### **Théorie de l'auto efficacité (Self Efficacy Theory)**

D'autres recherches se sont concentrées sur les concepts personnels (« *self-concepts* » : la façon dont les individus s'auto considèrent). Nous pouvons notamment parler de la théorie d'auto efficacité (« *Self Efficacy Theory* ») de Bandura [1994] qui met l'accent sur la perception qu'ont les individus de leur capacité à produire un effet désiré dans une tâche. Dans ses recherches, Bandura a déterminé deux types d'espérances :

- les **espérances de résultats** (« *outcome expectations* ») : la croyance que certains comportements, comme le fait de s'entraîner, vont provoquer certains résultats tels qu'une amélioration des performances;

- les **espérances d'efficacité** (« *efficacy expectation* ») : la croyance que l'on peut réaliser les comportements nécessaires pour produire le résultat. Par exemple, « je peux m'entraîner suffisamment fort pour réussir la prochaine évaluation ».

Bandura estime, par ailleurs, que la façon dont les individus perçoivent leur efficacité dépend de quatre éléments qui sont :

- leurs performances antécédentes;
- le plaisir qu'ils retirent de l'apprentissage;
- les encouragements verbaux des autres personnes;
- les réactions physiologiques d'une personne (exemples : l'excitation, l'anxiété).

Les prédictions théoriques de Bandura ont été appliquées et validées dans de nombreux domaines : l'apprentissage bien sûr, mais aussi la santé, les sports et même la peur des serpents [Bandura, 1994].

### **Théorie de l'auto valorisation (Self Worth Theory)**

Toujours en lien avec les concepts personnels, nous pouvons également mentionner la théorie d'auto-valorisation (« *self worth theory* », [Covington, 1992]). Selon Covington, l'auto valorisation est définie comme le désir de maintenir une image positive de soi ou de se mettre en valeur. Comme le mentionnent Eccles et ses collègues [1998], un moyen de protéger sa confiance en soi est d'adopter un modèle d'attribution causale (voir la partie précédente sur la théorie de l'attribution) qui augmente à la fois le sens des compétences académiques et le contrôle. Un exemple d'un tel modèle est d'attribuer son succès à ses capacités et efforts alors que son échec sera du à un refus d'essayer. Dans ce sens, s'il y a de grandes chances d'échecs, certains individus préféreront ne pas essayer car cela mettrait en danger la conception qu'ils ont de leurs compétences. Un échec pourrait également nuire à l'image que se font les partenaires de l'individu (« il n'est pas si bon que cela finalement »).



Covington [1992] suggère que réduire la fréquence et les déductions tirées d'entraînements compétitifs, socio-comparateurs et évaluateurs pour se concentrer sur des éléments comme l'effort, la volonté de maîtrise et d'amélioration des individus permettrait à plus d'apprenants de maintenir leur niveau de valorisation d'eux-mêmes sans qu'ils aient à faire appel à des stratégies d'évitement d'échec (comme le fait de ne pas essayer).

### **Théorie de l'auto régulation (Self Regulation Theory)**

La théorie de l'auto régulation (« *Self Regulation Theory* », [Zimmerman, 1989]) propose quant à elle d'analyser comment les individus régulent leurs comportements de manière à réussir dans une tâche ou activité. D'après Zimmerman, les apprenants qui s'auto-régulent mettent en oeuvre trois processus importants :

- **l'auto observation** : la surveillance de leur propre comportement dans l'activité;
- **l'auto jugement** : l'évaluation de la qualité de leurs performances en comparaison avec un standard ou avec la performance d'autres individus;
- **l'auto réaction** : leurs réactions face à leurs résultats.

La théorie d'auto régulation met en lumière l'importance, lorsque l'on cherche à étudier la régulation des comportements d'un individu, de prendre en considération les croyances d'auto efficacité, d'attribution causale ainsi que la façon dont les buts sont déterminés. Lorsqu'un individu s'engage dans une tâche, il doit contrôler son comportement, juger ses résultats et réagir à ces résultats pour réguler ce qui est nécessaire à la continuité de l'activité.

### **Théories en lien avec les buts individuels (Goal Theories)**

Un grand nombre de recherches sur la motivation à la réussite ont également porté sur les buts d'un individu (« *goal theories* », [Nicholls, 1979; Ames, 1992]). Nicholls et d'autres chercheurs ont déterminé trois types de buts majeurs :

- **les buts impliquant l'ego** (« *ego oriented goals* »). L'individu cherche à maximiser les évaluations favorables de ses performances (et donc à minimiser les évaluations

défavorables). se posera par exemple des questions du genre : *est-ce que j'ai l'air intelligent? Est-ce que je peux surpasser les autres?* ;

- les **but**s en lien avec la tâche (« *task oriented goals* »). L'individu cherche alors à maîtriser une tâche et améliorer ses compétences/connaissances. Il pourra alors se demander : *comment puis-je réaliser cette tâche ? Que vais-je apprendre?* ;
- les **but**s permettant d'éviter du travail (« *work avoidant goals* »). L'individu cherche alors à minimiser ses efforts.

Dans le même ordre d'idée, Ames [1992] différencie les buts de performance (« *performance oriented goals* », similaires aux buts liés à l'ego) des buts de maîtrise (« *mastery oriented goals* », similaires aux buts orientés vers la tâche).

Une distinction a également été établie entre les buts personnels (qui concernent des conséquences intra personnels) et les buts personne - environnement (qui concernent les relations entre une personne et son environnement) [Ford et Nicholls, 1991].

### **Théories liées au contrôle sur une activité (Control Theories)**

Les recherches portant sur le contrôle (« *control theories* », [Connell & Wellborn, 1991]) ont confirmé l'association positive entre locus de contrôle interne (*j'ai un pouvoir décisionnel concernant mon apprentissage*) et réussite académique. Connell et Wellborn ont étudié les liens entre la satisfaction des besoins psychologiques en autonomie, relationnel et compétence (qui résulte en une amélioration de la motivation; ceci est discuté la partie concernant la *théorie de l'autodétermination*) et les croyances de contrôle. Ils ont ainsi pu relier les croyances de contrôle au sentiment de compétence. C'est-à-dire qu'un individu qui croit qu'il a le contrôle sur son activité et sur sa capacité à réussir dans celle-ci se sentira plus compétent, ce qui est généralement bénéfique à la motivation

## **Théorie en lien avec le concept de volition (Volitional Theories)**

Une autre voie de recherche en lien avec la motivation à la réussite des individus concerne les travaux sur la volition [Kuhl, 1987; Corno, 1993]. En accord avec Corno [1993], Eccles et ses collègues [1998] définissent la volition ainsi :

*« The term volition refers to both the strength of will needed to complete a task and diligence of pursuit. »*

On peut donc résumer ce terme comme étant la volonté qu'a un individu d'accomplir une tâche, volonté dont découle l'implication de cet individu dans la poursuite de cette tâche. La volition est un mécanisme purement lié à la persistance dans une activité déjà entreprise et ne concerne pas l'initiative de débiter une activité. Ainsi, c'est seulement une fois qu'un individu s'est engagé dans une tâche que des processus de volition vont déterminer s'il persiste dans cette tâche ou s'il passe à une autre tâche.

Kuhl [1987] propose trois types de stratégies en lien avec la volition :

- les **stratégies de contrôle cognitif** : l'objectif est d'aider l'individu à rester concentré sur l'information utile. On évite l'information distrayante et on vise à améliorer la qualité de sa prise de décision;
- les **stratégies de contrôle émotionnel** : l'objectif est d'inhiber des états émotionnels négatifs pour l'apprentissage tels que l'anxiété ou la dépression;
- les **stratégies de contrôle environnemental** : l'objectif est de contraindre ou d'améliorer l'environnement direct d'une personne pour faciliter les comportements motivés. Par exemple, certaines personnes décideront d'éteindre la télévision pendant qu'elles travaillent.

## **Les théories liées à la motivation intrinsèque**

De plus en plus de théoriciens s'intéressent également à la motivation intrinsèque comme par exemple la théorie du Flot (« *Flow Theory* », [Csikszentmihalyi, 1988]) ou encore la théorie de l'autodétermination (« *Self Determination Theory* » [Deci & Ryan,

1985; Laguardia, Ryan, 2000; Ryan, Deci, 2000a; 2000b; 2002]). Pour la suite de ce document, nous utiliserons l'acronyme usuel anglophone **SDT** pour désigner la théorie de l'autodétermination.

Ryan et Deci [2000a] définissent la motivation intrinsèque et son opposée, la motivation extrinsèque, comme suit :

- la **motivation intrinsèque** : « *doing something because it is inherently interesting and enjoyable* ». Si un individu est motivé intrinsèquement pour une activité, il voudra faire cette activité pour le plaisir que lui procure son exécution.
- la **motivation extrinsèque** : « *doing something because it leads to a separate outcome* ». Si un individu est motivé extrinsèquement pour une activité, il fera cette activité parce qu'il y est poussé par des éléments extérieurs ou pour une récompense que nous procurerait la réalisation de cette activité (c'est-à-dire que l'on fait l'activité pour ce qui va en résulter).

Dans sa théorie, Csikszentmihalyi [1988] décrit une expérience motivationnelle bien particulière appelée Flot qui peut se produire quand une personne effectue une activité qui lui plaît fortement (le flot a été notamment étudié chez des alpinistes, des danseurs, des joueurs d'échecs, de basket et des compositeurs). Ce qui signifie, d'après ce qu'on vient de voir, qu'une expérience de Flot est un niveau très élevé de motivation intrinsèque. Le Flot se caractérise ainsi :

- un sentiment fort d'être immergé dans l'activité;
- le regroupement de l'action et de la réflexion (en un seul processus appelé « awareness »);
- la concentration de l'attention sur un champ limité de stimuli;
- le manque de conscience de sa personne;
- un sentiment fort de contrôle sur ses actions et son environnement.

On peut donc résumer une expérience de Flot en une concentration totale d'un individu pour la réussite de l'activité en cours. Des expériences ont montré qu'il fallait généralement qu'une activité implique un niveau de défi relativement élevé pour qu'une expérience de flot puisse être ressentie.

Comme on l'a dit précédemment et en s'inspirant de certains des concepts proposés dans d'autres théories de motivation, Deci et Ryan ont proposé une théorie en lien avec la motivation intrinsèque connue sous le nom de théorie de l'autodétermination. Cette théorie nous semble particulièrement applicable au problème de la motivation en e-Learning. C'est pourquoi nous allons la détailler plus particulièrement dans la partie suivante.

### **2.3.3. La théorie de l'autodétermination (Self Determination Theory : SDT)**

La théorie de l'autodétermination intègre des notions provenant de beaucoup des théories que nous avons présentées précédemment. On peut toutefois distinguer les deux principes essentiels suivants dans la SDT :

- il existe **différents « types » de motivation** et un comportement est plus ou moins efficace selon le type de motivation qui le provoque/régule;
- il existe **trois besoins psychologiques fondamentaux**. Ces besoins sont indépendants des cultures, c'est-à-dire que, quelle que soit son origine, une personne est sensible à la satisfaction de ces besoins. Assouvir ces besoins résulte en une amélioration de la qualité de motivation (le type de motivation qui régira les comportements de l'individu sera meilleur). A l'opposé, les restreindre affecte négativement la motivation.

Dans ce qui suit, nous décrivons plus en détail ces deux principes.

#### **Différentes catégories de motivation extrinsèque**

Le premier élément important de la théorie de l'autodétermination est une classification des types de motivation. Tout d'abord, en plus des types déjà mentionnés de

motivation intrinsèque et extrinsèque (voir à la fin de la partie 2.3.2), on doit considérer **l'amotivation**, c'est-à-dire le fait de ne pas être motivé.

Mais la théorie de l'autodétermination va plus loin dans sa distinction des types de motivation et segmente la motivation extrinsèque en quatre sous catégories de motivation. Ces sous-catégories de la motivation extrinsèque sont différenciées principalement par la façon dont l'individu auto régule son activité ainsi que par la perception qu'il a du contrôle exercé sur l'activité. Comme on l'a vu dans la présentation de la théorie de l'attribution (partie 2.3.2.), un locus de contrôle interne signifie que l'individu pense qu'il est en contrôle de l'activité alors qu'un locus de contrôle externe signifie qu'il pense que l'activité est contrôlée par un élément extérieur.

Le tableau 1 présente, conformément à [Ryan et Deci, 2000b], le continuum des types de motivations proposé dans la SDT.

Tableau 1. Types de régulation de la motivation selon la théorie de l'autodétermination

Types de motivation	Types de régulation	Locus de contrôle perçu	Processus Impliqués
MOTIVATION INTRINSÈQUE	Intrinsèque	Interne	- Intérêt - Plaisir
MOTIVATION EXTRINSÈQUE	Intégrée	Interne	- Congruence - Conscience - Unité du soi
	Identifiée	Plutôt interne	- Importance personnelle - Valorisation personnelle
	Introjectée	Plutôt externe	- Autocontrôle - Implication du soi - Récompenses et punitions internes
	Externe	Externe	- Conformité - Récompenses et punitions externes
AMOTIVATION	Sans régulation	Impersonnelle	- Non intentionnelle - Non valorisant - Incompétence - Manque de contrôle - Sans satisfaction

Pour comprendre le tableau 1, il faut savoir que plus le type de motivation pour une activité tend vers la motivation intrinsèque, meilleure est la qualité de la motivation, c'est à

dire la force de l'engagement et la persévérance dans la tâche. Les quatre catégories de motivation extrinsèque définies dans la SDT sont :

- la **régulation externe** (« *external regulation* ») : le locus de contrôle est vu comme totalement externe. On ne voit pas l'utilité de l'activité. On cherche ici à satisfaire une demande extérieure ou à obtenir une récompense.
- la **régulation introjectée** (« *introjected regulation* ») : le locus de contrôle demeure externe. Ici on va effectuer l'activité pour éviter d'avoir un sentiment de culpabilité, de l'anxiété ou encore pour améliorer son ego (la fierté).
- la **régulation identifiée** (« *identified regulation* ») : le locus de contrôle est de plus en plus interne (on décide volontairement de faire l'activité). On reconnaît que l'activité a une utilité et on lui donne une certaine valeur. Cependant, le locus de contrôle garde également un côté externe car l'activité est avant tout vue comme un moyen d'atteindre un but.
- la **régulation intégrée** (« *integrated regulation* ») : le locus de contrôle est tout à fait interne. C'est l'aboutissement maximal de la régulation identifiée. Non seulement l'activité a de la valeur pour soi mais en plus, cette activité est en concordance avec les besoins, valeurs et buts personnels de l'individu. On ne peut pas encore considérer qu'il s'agit de motivation intrinsèque car l'activité n'est pas effectuée pour le plaisir qu'elle procure. Cependant la qualité de l'engagement et de la persévérance liée à une régulation intégrée se rapproche très fortement de celle associée à la motivation intrinsèque.

### Trois besoins psychologiques fondamentaux

La SDT stipule également qu'il existe trois besoins psychologiques fondamentaux : les besoins de *compétence*, de *relationnel* et d'*autonomie*. Ce sont des besoins partagés universellement, c'est-à-dire indépendants des cultures [Chirkov, Ryan, 2001; Ryan, Deci, 2002; Chirkov et al., 2003]). Par ailleurs, satisfaire ces besoins résultera en une amélioration de la motivation alors que les restreindre affectera négativement la motivation.

### *Le besoin de compétence*

La SDT avance que les événements socio-contextuels qui amènent à un sentiment de compétence durant une action améliorent la motivation intrinsèque pour l'activité en cours. Cela signifie que plus on se sent compétent, plus on va s'intéresser à l'activité [Ryan, Deci, 2000b]. Ce sentiment est notamment lié au niveau de défi que procure l'activité et se manifeste par la confiance de pouvoir être performant dans l'activité. Il peut également être vu comme la nécessité mentale qu'à un individu d'avoir un effet, d'être influent sur son environnement.

### *Le besoin de relationnel*

D'après la SDT, les types de motivation positive sont encouragés par la sensation psychologique d'être en relation avec les autres, dans une communion sécuritaire ou dans l'unité [Ryan, Deci, 2002]. Par exemple, les élèves sont moins motivés quand l'enseignant a une attitude froide et ne semble pas s'intéresser au succès de ses étudiants [Ryan, Grolnick, 1986].

### *Le besoin d'autonomie*

Avant toute chose, dans le contexte de la SDT, l'autonomie ne doit en aucun cas être confondu avec l'individualisme. Guay et ses collègues [Guay et al., 2000] définissent l'autonomie comme le sentiment d'être libre de pression et d'avoir la possibilité de faire des choix parmi plusieurs plans d'actions possibles. Dans le même ordre d'idée, Reeve voit l'autonomie comme le sentiment d'être l'auteur, l'origine d'un comportement [Reeve, 2006]. De ce fait, en SDT, le contrôle externe est l'opposé de l'autonomie.

Des recherches ont montré que des élèves ayant un enseignant qui encourage leur autonomie montrent plus de motivation à la maîtrise (faire une activité dans le but d'avoir de nouvelles capacités), perçoivent mieux leurs compétences et ont une motivation intrinsèque pour l'activité d'apprentissage plus élevée. Ils ont plus de succès académique [Flink et al., 1990], comprennent mieux les concepts et persistent plus à l'école, comparativement aux élèves d'un enseignant qui aurait une attitude relativement contrôlante [Reeve et al., 2004]. Les étudiants qui ont une attitude autonome apparaissent



également plus engagés dans les tâches d'apprentissage. Des résultats similaires ont été mis en évidence dans de nombreuses cultures [Ryan, Deci, 2002; Chirkov et al., 2003].

### **2.3.4. Comment évaluer la motivation?**

Diverses techniques classiques sont employées pour mesurer et évaluer la motivation à la réussite. Nous présentons un rapide aperçu de celles-ci dans ce qui suit, tout en soulignant les limitations de chacune d'entre elles.

#### **Le libre choix (« Free choice »)**

Cette méthode consiste à évaluer le temps passé sur une activité une fois qu'on ne contraint plus l'individu à effectuer cette activité. Par exemple, on peut demander à quelqu'un de faire une activité sur un ordinateur. Au bout d'un certain temps, on signifie à la personne que l'activité est terminée et on lui demande de patienter. L'examineur passe alors dans une autre salle, laissant la personne seule. La personne a alors l'opportunité de continuer l'activité ou de faire autre chose (comme par exemple lire un magazine). On va alors observer, à travers une vitre sans teint par exemple, si la personne laissée seule continue l'activité, ce qui manifesterait une motivation intrinsèque à effectuer l'activité.

Guay et ses collègues [Guay et al., 2000] voient deux limitations importantes à la technique de libre choix :

- on peut seulement mesurer s'il y a de la motivation intrinsèque ou non (toutes les sous-catégories présentées dans la théorie de l'auto détermination ne peuvent être évaluées);
- il est compliqué d'utiliser cette technique en dehors d'un environnement contrôlé comme un laboratoire.

En définitif, la méthode de libre choix ne peut être vue comme une fin en soi, mais plutôt comme un complément à d'autres techniques d'évaluation de la motivation. On peut cependant intégrer facilement un procédé dérivé de la méthodologie de libre choix dans un

STI. La surveillance de ses interactions avec le STI prend alors la place du principe d'observation humaine.

### **Les questionnaires d'auto évaluation (« Self Report »)**

Une deuxième méthodologie utilisée consiste à utiliser des questionnaires d'auto évaluation (« *Self Report* »).

Leur principe est simple : un ensemble de questions est présenté à la personne évaluée. Généralement, un choix limité et précis de réponses est possible. L'analyse de celles-ci permet d'obtenir un profil de l'individu. Les questionnaires peuvent permettre d'évaluer des caractéristiques personnelles, la perception d'un élément ou d'une tâche par un individu. Dans le cas de la motivation, les questionnaires de motivation peuvent porter sur des éléments très variés : l'auto régulation des individus, leurs aspirations fondamentales, la compétence qu'ils pensent avoir dans une activité pour ne citer que quelques exemples en lien avec la SDT [URL2].

Les questionnaires d'auto évaluation ont l'avantage d'être simples à mettre en œuvre. Cependant, on peut aussi leur associer trois défauts :

- **La subjectivité des réponses.** Jusqu'à quel point et de quelle manière peut-on demander aux individus de s'auto analyser? Quelle peut être la validité de ces réponses qui sont nécessairement subjectives? Les individus interrogés peuvent en effet interpréter de manière personnelle ou erronée les questions posées. Les psychologues sont depuis toujours conscients de ces limites, mais, à défaut d'un meilleur outil, les informations obtenues par ce médium demeurent très précieuses. Par ailleurs, pour atténuer partiellement ce problème, les questionnaires d'auto évaluation sont souvent conçus de manière à ce que l'apprenant ne distingue pas clairement ce que le questionnaire cherche à mesurer. Ainsi, l'apprenant aura plus de difficulté à manipuler sciemment les résultats. Par ailleurs, il existe une science entièrement dédiée à la validation (ou non) des tests : la psychométrie. Parmi les outils disponibles, le coefficient Alpha, proposé par Cronbach [1951], est sans doute le plus connu. Le calcul du Alpha de Cronbach donne une valeur comprise entre 0 et

1. Selon l'association de psychologie américaine, un Alpha compris entre 0.7 et 0.9 signifie que le questionnaire est cohérent. Au delà de 0.9, cette validation peut par contre être considérée comme douteuse.

- **Le non synchronisme.** Du fait même de la méthodologie employée, la détermination d'informations relatives à la motivation ne peut être que postérieure à la situation qui l'a provoquée. En d'autres termes, on n'aura de nouveaux éléments sur l'état motivationnel d'un apprenant qu'après l'analyse des résultats obtenus dans un questionnaire et non pas au moment où les changements motivationnels s'opèrent. L'adaptation en temps réel basée sur l'utilisation de questionnaires apparaît donc des plus problématiques.
- **Le séquençage des sessions d'apprentissage.** Si l'on cherche à s'adapter à l'état motivationnel d'un apprenant, il sera nécessaire de mettre à jour son profil fréquemment. Cela imposera donc d'entrecouper une session d'apprentissage de périodes d'évaluation dédiées à la détermination de son état motivationnel. On peut considérer que ces coupures en soit risquent d'affecter la motivation d'un apprenant en le déconcentrant de son apprentissage. La méthodologie introduirait en quelque sorte « du bruit motivationnel ». Par exemple, on mentionne notamment que des mesures intrusives, comme l'utilisation de questionnaires interférant avec une session d'apprentissage, peuvent sérieusement compromettre une expérience de flot (un haut niveau de motivation intrinsèque) alors même qu'ils cherchent à la détecter [Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988].

Malgré les trois problèmes précédemment cités, l'utilisation de questionnaires d'auto évaluation demeure très fréquemment pertinente. Ils peuvent notamment permettre d'évaluer, après coup, l'effet d'une expérience ou d'un événement sur la motivation d'un apprenant ou encore de déterminer l'interprétation mentale qu'a faite cette personne de cet événement.

Cependant, leur utilisation semble plus problématique dans le cas où on désirerait prendre en compte la motivation, en temps réel (comme par exemple dans un processus d'adaptation au sein d'un STI).

### 2.3.5. Motivation et e-Learning

Pour terminer cet état de l'art des recherches en motivation, nous nous intéressons aux travaux précédemment réalisés visant à introduire des aspects motivationnels dans des systèmes de e-Learning et notamment dans des STI. Comme on va le voir, ces recherches suivent des approches très variées. Historiquement, un certain nombre de ces études se sont inspirées des recherches sur la motivation de Keller [1983] mais, au meilleur de nos connaissances, celles-ci trouvent relativement peu d'écho aujourd'hui chez les psychologues de la motivation. D'autres études font par contre appel à certaines des théories de motivation à la réussite présentées auparavant.

#### **Proposition d'un planificateur motivationnel [Del Soldato, du Boulay, 1995]**

Ces travaux sont vus par beaucoup comme la première tentative de considérer la motivation dans un STI. Del Soldato et du Boulay s'inspirent de l'approche de la motivation de Keller [1983] pour proposer une représentation informatique de la motivation ou modèle de motivation. La méthodologie proposée consiste à évaluer les niveaux d'effort, de confiance et d'indépendance d'un apprenant et à déduire, à partir de cela, son état motivationnel.

Partant de cela, ils proposent d'adjoindre un planificateur motivationnel au planificateur classique (lié au domaine d'apprentissage). Le planificateur motivationnel fournirait des recommandations qui pourraient différer de celle d'un planificateur traditionnel dans un certain nombre de cas.

La résultante de ses travaux est le système MORE (MOtivationnal REactive Plan), implanté en Prolog. Il est constitué d'un planificateur traditionnel (lié au domaine) et d'un planificateur motivationnel. MORE est à base de règles de production. Ces règles sont utilisées pour la modélisation classique et motivationnelle de l'apprenant (son niveau de performance ainsi que son état motivationnel) :

- Dans le cas du planificateur traditionnel, les règles ont pour but de faire avancer l'apprenant dans la connaissance d'un domaine. Ainsi si l'apprenant apprend avec succès une unité d'apprentissage qui est pré requise pour une autre, cette dernière

pourra alors être enseignée. Si par contre il connaît un échec, un nouveau « chemin d'apprentissage » sera proposé.

- Dans le cas du planificateur motivationnel, des règles sont liées à l'objectif d'améliorer les niveaux de confiance, d'effort et d'indépendance d'un apprenant.

Pour des raisons de concisions, nous ne présentons pas ces règles en détail dans ce document et invitons le lecteur qui souhaiterait plus d'informations à leur sujet à consulter [Del Soldato et du Boulay, 1995].

Les règles doivent donc servir à choisir la méthodologie d'apprentissage la plus adéquate en fonction du modèle courant d'un apprenant. Un planificateur de négociation permet de gérer d'éventuelles contradictions entre les planificateurs traditionnel et motivationnel.

Del Soldato s'interroge à la fin de sa recherche sur la pertinence d'adjoindre un planificateur motivationnel à un planificateur plus classique. À la vue du nombre grandissant de travaux insérant des aspects motivationnels dans les STI, cela ne fait plus guère de doute. Par ailleurs, elle pointe du doigt le fait que les règles motivationnelles qu'elle utilise découlent de travaux de psychologues de l'éducation, basés sur des interactions classiques entre humains et s'interrogeait sur leur adaptabilité dans un environnement homme-machine.

### **Détection de la motivation des apprenants [De Vicente, 2003]**

De Vicente identifie les travaux de Del Soldato et Du Boulay comme étant les premiers en rapport avec la motivation dans les STI. Il reproche cependant aux règles qui y ont été proposées d'être en parties spéculatives et de ne pas toujours avoir été évaluées.

Même s'il s'inspire des recherches de Del Soldato, l'approche de De Vicente, quant à elle, porte sur la détection de l'état motivationnel d'apprenants interagissant dans un STI. Dans le cadre de cette recherche, il propose tout d'abord un ensemble de principes pour la conception d'un STI motivationnel, basé sur un modèle motivationnel de l'apprenant. Les

facteurs de motivation composant ce modèle ont été sélectionnés dans diverses théories de motivation en éducation. Ils sont séparés en deux groupes selon ce qu'ils illustrent.

Le premier groupe comprend les facteurs permettant de représenter des particularismes propres à un apprenant. Ces facteurs sont le contrôle (le degré de contrôle que les apprenants aiment avoir dans une situation d'apprentissage), le défi (le niveau de défi que les apprenants aiment avoir dans une situation d'apprentissage), l'indépendance (le degré de préférence des étudiants pour le travail indépendant, sans l'aide d'autrui) et la fantaisie (le degré d'appréciation par les étudiants d'environnements d'apprentissage évoquant des images mentales de situations physiques ou sociales)

Le deuxième groupe comprend les facteurs permettant d'identifier des caractéristiques occasionnelles d'un apprenant en fonction de ce qu'il est en train d'apprendre. Ces facteurs sont la pertinence (« *relevance* », le sentiment que la situation d'apprentissage se rapporte à des besoins personnels importants de l'apprenant), la confiance (« *confidence* », la croyance de l'apprenant en sa capacité à être performant dans cette tâche), l'intérêt cognitif (l'excitation de la curiosité de l'apprenant provoquée par les caractéristiques de la tâche étudiée), l'effort (le degré d'effort que l'apprenant met dans l'accomplissement de la tâche) et la satisfaction (le sentiment général de l'apprenant d'avoir atteint un but)

De Vicente commence par vérifier la faisabilité d'utiliser des questionnaires d'auto évaluation pour pouvoir mettre à jour son modèle motivationnel. Ceux-ci sont généralement bien acceptés par les étudiants. Cependant, il apparaît que les étudiants ont du mal à correctement s'auto évaluer dans un certain nombre de situations. Ce genre de méthode s'avère également difficile à utiliser à une fréquence souhaitable pour un processus d'adaptation.

Il cherche par la suite à formaliser les connaissances liées au diagnostic de la motivation, pour éviter d'utiliser des questionnaires. Ainsi, dans une autre étude, il demande à des enseignants de déterminer l'état motivationnel d'un apprenant filmé précédemment. En formalisant les observations obtenues, il obtient ainsi un ensemble de règles pour diagnostiquer la motivation. Puis, pour une situation d'apprentissage, il

demande à des enseignants si les règles motivationnelles obtenues peuvent effectivement s'y appliquer. 41 des 61 règles qui avaient été proposées initialement ont ainsi été validées.

MOODS, un système d'apprentissage simple, a été développé et intègre les règles motivationnelles validée. Le diagnostic motivationnel émis par MOODS dans une situation d'apprentissage a été enregistré dans deux simulations et, à fins d'évaluation, il a été comparé avec des diagnostics émis par des enseignants humains. Les résultats obtenus s'avèrent mesurés : dans une des deux simulations, les résultats de MOODS et des enseignants sont assez similaires alors que dans l'autre cas, ils ne le sont pas vraiment.

Dans son analyse de ses recherches, De Vicente met en avant que le modèle motivationnel proposé est suffisamment petit pour être incorporé relativement facilement dans un STI. La distinction qu'il crée entre les facteurs motivationnels liés aux particularismes des apprenants et ceux liés à leurs caractéristiques occasionnelles est bien comprise des enseignants humains. Par ailleurs, quand elles sont mises à leur disposition, les enseignants humains trouvent les informations dont dispose MOODS utiles pour établir leur propre diagnostic motivationnel. De Vicente met en avant le fait que ce modèle motivationnel semble donc donner une représentation générique de l'apprenant dans une situation d'apprentissage générique. Cependant, il estime également que ce modèle ne doit pas être considéré comme le seul possible pour représenter la motivation (notamment parce qu'il existe d'autres facteurs de motivations qui pourraient être considérés).

### **Considération des buts individuels en e-Learning [Martinez-Miron et al., 2005]**

Cette recherche s'intéresse aux différences existantes entre individus quant à la tendance à avoir des buts de maîtrise ou de performance dans une tâche [Ames, 1992]. Deux études sont présentées.

#### *Etude 1 : La motivation et l'influence des buts de réussite*

La première étude s'intéresse à la manière dont des enfants interagissent avec deux versions d'un système de e-Learning conçus en fonction d'une tendance de but ou d'une autre. Ainsi, deux versions de ECOLAB II [Luckin, Du Boulay, 1999] ont été développées,

ayant chacune des stratégies de rétroaction différentes, selon qu'elles étaient censées encourager les buts de performance ou de maîtrise. Trois hypothèses sont discutées :

- Concentrer un système d'apprentissage informatique en vue de satisfaire principalement des buts individuels de performance (la volonté d'obtenir un résultat positif) ou de maîtrise (la volonté de maîtriser une compétence) a-t-il une incidence sur la performance des individus ?
- Un système d'apprentissage informatique spécifiquement orienté vers l'une ou l'autre de ces tendances produit-il des résultats différents sur des individus en fonction de leurs aptitudes personnelles ?
- La tendance personnelle d'un individu pour des buts de maîtrise ou de performance garde-t-elle son importance ou est-elle rendue non significative si le système d'apprentissage informatique a tendance à satisfaire principalement les buts opposés?

La tendance de but de 33 élèves, âgés de 9 à 11 ans, fut établie en utilisant le questionnaire PALS [Midgley et al., 2000]. Puis, de manière aléatoire, chacun d'entre eux se vit demander d'utiliser l'une ou l'autre des versions du système et on surveilla alors leurs interactions avec le système.

Les résultats n'ont démontré aucune corrélation significative entre l'orientation d'un individu, celle de la version du système qu'il utilisait et son comportement. En d'autres termes, selon les auteurs, la tendance personnelle d'un individu ne semble pas influencer sa réactivité à un environnement favorisant les buts de maîtrise ou de performance.

### *Étude 2 : L'apprentissage collaboratif et l'influence des buts de réussite*

La deuxième étude cherchait à vérifier si la tendance de but d'un enfant influençait son comportement dans une activité collaborative assistée par ordinateur. Pour cela, la collaboration fût évaluée en analysant le langage employé par 22 élèves, âgés de 7 à 9 ans, durant une tâche d'apprentissage collaboratif.



Les résultats ont mis en évidence que l'orientation individuelle était corrélée avec les « commentaires positifs de régulation ». Ainsi, plus les élèves avaient une orientation à la maîtrise, plus ils avaient tendance à s'engager dans des discussions constructives pour régler des désaccords avec leur partenaire. Par contre, s'ils avaient une tendance à la performance, ils s'engageaient beaucoup moins dans ce genre de discussion. Ces résultats suggèrent donc qu'il existe une relation entre la tendance d'un individu et son style de collaboration.

### *Limitations de l'utilisation des théories de buts en e-Learning*

Dans l'état actuel des connaissances, l'utilisation des tendances individuelles de buts semble relativement difficile à adapter au e-Learning. Les auteurs s'interrogent notamment sur deux aspects des théories de buts :

- **Comment représenter la tendance de but d'un individu ?** Sous la forme d'une dimension bipolaire (performance contre maîtrise) ou sous la forme de deux dimensions indépendantes l'une de l'autre (une pour la tendance à la performance et l'autre pour la tendance à la maîtrise). Dans les deux études, il était rare d'avoir une catégorisation claire des apprenants suite à l'étude des réponses obtenues au questionnaire PALS utilisé, rappelons le, pour déterminer la tendance de but de chaque individu. Les apprenants se situant très fréquemment à un niveau intermédiaire entre tendance à la performance et tendance à la maîtrise, la représentation bipolaire prônée dans le PALS ne semble pas forcément adéquate. Il serait sans doute plus souhaitable de considérer les tendances à la performance et à la maîtrise comme deux dimensions indépendantes.
- **Est-il important ou non de considérer l'influence du contexte (par exemple, individuel ou collaboratif) sur les tendances de buts ?** Selon les auteurs, cette question est liée à la façon d'interpréter les tendances de buts, soit comme des particularités personnelles qui resteraient stables au fil du temps et des changements de contexte, soit comme des états situationnel qui varient selon le contexte spécifique. Les auteurs pensent que ce problème est un élément essentiel pour la compréhension des buts individuels et de leur manifestation. Ils estiment que

répondre à cette question pourrait avoir des implications sur la manière dont un système utiliserait des dimensions motivationnelles pour améliorer une expérience d'apprentissage.

### **Construction de la motivation via un compagnon virtuel en e-Learning [Rebolledo-Mendez et al., 2006]**

Une autre adaptation de ECOLAB [Luckin, Du Boulay, 1999] a également été proposée, se basant sur l'ajout d'un compagnon virtuel à but motivationnel : M-ECOLAB

Dans une session d'apprentissage avec M-ECOLAB, ce personnage intervient oralement à deux moments :

- avant l'activité pour informer des objectifs à réaliser dans la session qui va suivre ;
- en fin d'activité. Il émet des commentaires visant à faire s'interroger les apprenants sur leur comportement durant la simulation.

Le système adapte les commentaires qu'il donne en fonction d'un modèle motivationnel de l'apprenant. L'adaptation peut consister en une altération de la voix du personnage ou de sa gestuelle. Le but final du système est, comme dans les travaux de Del Soldato [1995], d'encourager l'apprenant à faire plus d'effort, à être plus indépendant ou à devenir plus confiant [Keller, 1983].

### *Méthodologie de l'évaluation*

Les étudiants suivant l'enseignement de M-ECOLAB ont tous préalablement suivi un cours classique sur le domaine étudié dans l'expérience (la chaîne alimentaire). La méthodologie de l'expérience est la suivante. Un pré test est tout d'abord effectué pour établir le niveau de capacités et de motivation des apprenants pour le sujet. Les étudiants utilisent alors une première fois M-ECOLAB. Puis un délai de une semaine est donné et une deuxième utilisation a lieu. Juste après cette deuxième évaluation. Un post test est effectué, là encore sur les niveaux de capacité et de motivation des apprenants.

### *Objectifs de l'étude*

Les questions auxquelles on cherche à répondre sont :

- Quels sont les caractéristiques et comportements des apprenants qui peuvent avoir compté dans l'amélioration de la performance de ceux ayant des capacités initiales faibles ou moyennes ?
- Comment se caractérise l'aide reçue par les apprenants ?
- Quel fut l'impact des techniques de motivation sur les apprenants ?
- Comment tout cela se compare avec des versions antécédentes du système : ECOLAB I et ECOLAB II ?

### *Résultats*

Des enregistrements des interactions avec le système ont été analysés. De cette manière, on cherche à mettre en évidence les formats d'interactions et le type d'aides fournies par le système qui ont permis une amélioration de la motivation et des capacités.

Les résultats obtenus au post-test montrent que l'approche de M-ECOLAB, où les réactions motivationnelles du système sont ajustées en fonction d'un modèle de motivation propre à chaque apprenant, a permis à des étudiants initialement peu motivés d'améliorer leurs connaissances. Les étudiants avec des connaissances moyennes ou faibles initialement s'améliorent également. Par contre, les étudiants très motivés ou ayant de bonnes connaissances ne progressent pas réellement (peut être est-ce du à un effet de plafonnement).

Dans M-ECOLAB, la recherche de défi est une caractéristique des apprenants qui s'améliorent fortement. Par ailleurs, chez les étudiants démotivés initialement, ceux qui ont progressé nettement ont démontré plus d'effort et d'indépendants.

En comparaison, les étudiants qui progressaient le plus dans les versions antécédentes du système (ECOLAB I et ECOLAB II) étaient eux aussi caractérisés par une recherche de défi à relever mais prenaient également l'initiative de beaucoup interroger avec

les systèmes précédent. Ce comportement n'apparaît plus chez les étudiants qui ont fortement progressé durant l'étude de M-ECOLAB.

Les auteurs notent enfin que les étudiants qui ont progressé ont très généralement adapté leur comportement pour suivre les recommandations données par le compagnon d'apprentissage alors que les étudiants initialement très motivés (et qui n'ont pas réellement progressé) n'ont pas franchement varié de comportement.

### **Emploi d'une conception des éventualités (contingency design) dans un but motivationnel en e-Learning [Kelly, Weibelzahl, 2006]**

D'après Keller [1983], les stratégies motivationnelles peuvent être représentées :

- Avec une **conception motivationnelle**. On s'intéresse alors directement à la motivation de l'apprenant de manière à augmenter son effort dans la tâche.
- Avec une **conception d'apprentissage**. On visera alors à adapter le contenu ou sélectionner/recommander du contenu en fonction de l'état motivationnel
- Avec une **conception des éventualités**. L'objectif sera alors de rendre l'apprenant conscient que l'effort et la performance sont fortement liés à des conséquences.

Le système EDUCE présenté par Kelly et Weibelzahl [2006] considère essentiellement l'utilisation de cette dernière approche : la conception des éventualités.

EDUCE a été imaginé en s'inspirant de la théorie de l'**Intelligence Multiple** (IM) de Gardner [1983]. Selon celle-ci, il existe différents types d'intelligence permettant de représenter les différentes façons de penser, résoudre des problèmes ou apprendre.

EDUCE considère quatre types d'intelligence liés à l'IM pour modéliser les apprenants (intelligences logique/mathématique, verbale/linguistique, visuelle/spatiale et musicale/rythmique). Un domaine de connaissance y est divisé en unités d'apprentissage liées à un concept à appréhender. Dans chaque unité, quatre ensembles de ressources permettent d'enseigner ce concept de manière à satisfaire l'un des quatre types

d'intelligence pris en compte dans EDUCE. Le modèle d'un apprenant est déduit *en observant, analysant et enregistrant les choix de l'apprenant quant aux ressources IM.*

Chaque unité d'apprentissage est divisée en plusieurs niveaux : (1) attirer l'attention de l'apprenant, (2) fournir un ensemble de ressources IM à l'apprenant, (3) rappeler dans un but de renforcement le message clé de la leçon et (4) présenter des questions interactives liées à la question. La conception des éventualités apparaît à ce dernier niveau. Des parties d'une image sont révélées pour chaque bonne réponse d'un apprenant. Ainsi si l'apprenant a tout juste, l'ensemble de l'image apparaît.

Enfin, il faut noter qu'un apprenant a par ailleurs toujours la possibilité de revenir au niveau antécédent d'une unité d'apprentissage.

L'évaluation vise à étudier l'effet de cette conception des éventualités sur le niveau de confiance et de performance d'un apprenant. Deux groupes d'élèves ont donc utilisé EDUCE, mais pour l'un des deux, l'apparition des bouts d'image était totalement désactivée. La confiance des apprenants était mesurée en leur demandant avant chaque question, s'ils pensaient être capables d'y répondre. La performance quant à elle était mesurée avec un pré test et un post test.

Les résultats obtenus montrent que la conception des éventualités n'a pas d'effet sur le niveau de performance. Par contre, le test met en évidence que le niveau de confiance des apprenants a été augmenté quand ils étaient mis au courant de leur performance au moyen d'une méthode d'affichage partiel d'une image (résultant d'une conception des éventualités).

### **Considération de l'expérience de Flot en e-Learning [Pearce, 2005]**

Comme on peut le remarquer, tous les travaux précédemment cités ont un lien plus ou moins fort avec l'approche motivationnelle de [Keller, 1983]. Pourtant, comme on l'a remarqué, cette même approche est loin d'être la plus reconnue par les chercheurs spécialisés dans la motivation

Il existe d'autres travaux qui abordent la motivation en e-Learning en suivant d'autres chemins que la méthodologie pronée dans [Keller, 1983]. Par Exemple Pearce [2005] s'interroge sur le fait de considérer l'expérience de Flot pour l'amélioration du e-Learning (voir à la fin de la partie 2.3.2 le paragraphe concernant la théorie du Flot)

Avant toute chose, on doit mentionner que son approche du e-Learning est relativement peu moderne car elle ne postule pas de mécanisme d'adaptation contrairement à l'approche des STI.

Pearce commence par noter que les méthodologies actuelles pour motiver les apprenants en e-Learning se basent fréquemment sur l'utilisation de technologies multimédia mais que celles-ci posent le risque d'éloigner l'apprenant de l'apprentissage en tant que tel : il nomme cela artefacts d'interface. Découlant de cette approche, l'objectif est donc de trouver un moyen pour que l'apprenant soit attiré par les tâches d'apprentissage, sans pour autant être distrait par les artefacts de l'interface du système. La prise en compte de l'expérience de Flot lui semble pertinente à cet effet. Deux aspects sont étudiés dans ces travaux :

- Peut on mesurer le Flot durant l'apprentissage?
- Le Flot bénéficie-t-il à l'apprentissage?

Pour répondre à la première question, une étude fût menée. L'idée était de comparer l'évolution du niveau de difficulté ressenti dans une tâche avec son sentiment de capacité de bien faire dans celle-ci (une situation optimale de Flot se produit lorsque ces deux niveaux seront équivalents) durant une activité par rapport à une mesure générale du Flot déterminée après l'activité [Trevino, Webster 1992]. Le domaine d'évaluation était la physique.

Selon l'auteur, les résultats mettent en évidence que le niveau de Flot ressenti durant un apprentissage est beaucoup plus volatile que ce qui est généralement conceptualisé (le Flot est souvent vu comme un état assez endurant au changement). Une mesure générale du Flot après la session d'apprentissage est donc de peu d'intérêt pour décrire un processus si dynamique.

La mesure la plus sûre du Flot demeure une analyse d'interview des apprenants. Ceux-ci arrivent très bien à identifier une expérience de Flot en fonction d'éléments caractéristiques qu'ils peuvent ressentir. Cependant, c'est une méthode très peu pratique en e-Learning.

Une autre étude menée par Pearce met en évidence qu'effectivement, le flot peut être utile à l'apprentissage, notamment parce qu'une expérience de Flot est autotélique (un but en soi), ce qui fait qu'un étudiant vivant une expérience de Flot durant une activité d'apprentissage a plus de chance de vouloir réitérer cette activité. D'autre part, le Flot, s'il est ressenti vis-à-vis de la tâche (contrairement à s'il est considéré comme un artefact du à l'interface) décrit une expérience où les conditions pour un apprentissage de qualité sont réunis : des buts clairs, un soutien approprié, la difficulté en concordance avec les capacités. Cela permet d'obtenir des interactions très plaisantes et désinhibées avec le système d'apprentissage.

Selon Pearce, cela met notamment en évidence un danger dans la conception des systèmes de e-Learning. En effet, une interface multimédia crée une sorte de couche entre les apprenants et l'apprentissage. C'est le rôle du concepteur de rendre cette couche transparente de manière à ce que les apprenants se concentrent sur la tâche d'apprentissage elle-même et non sur les particularités attractives d'une interface.

### **Détection inductive du sentiment d'auto efficacité [McQuiggan, Lester, 2006]**

Les travaux de McQuiggan et Lester [2006] portent quant à eux sur la détection de l'auto efficacité (consulter la partie précédente concernant cette théorie). Ils notent tout d'abord que ce facteur motivationnel est utile pour prédire quels problèmes et sous problèmes un apprenant pourrait décider de résoudre, combien de temps il pourrait persister sur celui-ci et la quantité d'effort qu'il pourrait mettre dans sa résolution. L'auto efficacité permettrait également de prédire des particularismes individuels tels que le niveau d'engagement.

Pour atteindre cet objectif, ils proposent de comparer deux méthodologies à base d'apprentissage machine : l'une à base d'arbre de décision, l'autre à base de classifieurs naïfs de Bayes.

Il y a deux familles de modèles de l'apprenant utilisés pour diagnostiquer l'auto efficacité :

- Une famille de modèles statiques, contenant de données démographiques,
- Une famille de modèles dynamiques, qui consiste en la mise à jour de données démographiques au moyen d'informations obtenues de signaux physiologique (fréquence cardiaque et conductivité de la peau).

La méthodologie qu'ils emploient est la suivante : les apprenants commencent par fournir des informations démographiques. Puis ils lisent un tutorial en ligne sur la génétique. Après quoi, ils doivent remplir un questionnaire [Bandura, 2000] pour déterminer leur sentiment d'auto efficacité vis-à-vis du cours qui vient d'être lu, c'est-à-dire leur confiance dans leur capacité de répondre plus ou moins correctement à des questions sur ce sujet. A la suite de cela, des capteurs physiologiques leur sont apposés pour mesurer le rythme cardiaque ainsi que la conductivité de la peau. Une période de calibration de ces capteurs a alors lieu (pour établir une référence du niveau physiologique de l'apprenant). Une fois cela effectué, les réactions de l'apprenant sont enregistrées durant son utilisation d'un système de résolution de problème. Un débriefing général conclut l'évaluation.

Après avoir traité les données préalablement enregistrées (suppression des informations incomplète, transfert de l'ensemble des informations collectées dans un vecteur d'attributs), la phase d'analyse se déroule au moyen de la suite d'outils d'apprentissage machine WEKA [Witten, Frank, 2005].

Une validation croisée des données est effectuée (consistant à diviser ces données en dix séquences. Tour à tour, neuf d'entre elles servent pour la phase d'entraînement des algorithmes d'apprentissage machine choisis alors que une est mesurée). Cette opération est effectuée aussi bien pour les modèles statiques que dynamiques. Plusieurs format de sortie



représentant le sentiment d'auto efficacité d'un apprenant sont testés : de deux (faible/élevé) à cinq niveaux (très faible/faible/moyen/élevé/très élevé).

Les résultats mettent en évidence que dans chaque configuration testée, les arbres de décisions fonctionnent mieux que les classifieurs naïfs de Bayes. La prédiction basée sur le modèle statique est bonne (jusqu'à 83% de bonne détection pour un arbre de décision à deux niveaux en sortie) mais le résultat est encore meilleur avec le modèle dynamique (87% avec un arbre de décision à deux niveaux en sortie).

Selon ces auteurs, ces méthodes présenteraient donc de bons résultats et auraient l'avantage d'être en temps réel et inductives, n'interférant donc pas avec l'activité d'apprentissage.

Il est à noter que l'emploi de capteurs physiologiques pour la détection des émotions est une pratique encore peu courante dans le e-Learning mais, notamment du fait de sa faible interférence sur le processus d'apprentissage, elle gagne de plus en plus en popularité [Conati et al., 2003; Lyons et al., 2004; Bosma et André, 2004] (voir aussi le chapitre 5.2.).

### **2.3.6. De la pertinence d'utiliser la théorie de l'autodétermination en e-Learning**

Comme on le voit dans la partie précédente, la SDT n'a jusqu'à présent pas été considérée pour améliorer la motivation en e-Learning. Pourtant, l'intérêt de la SDT pour le problème de la motivation dans le e-Learning est manifeste.

Avant tout, il est rare qu'un individu fasse preuve de motivation intrinsèque pour une activité de e-Learning. Néanmoins, d'après la SDT, faire que celui-ci considère cette activité comme utile à l'accomplissement de ses buts personnels permettrait de réguler ses comportements d'apprentissage de manière presque aussi bénéfiques que s'il s'agissait de motivation intrinsèque. Faciliter l'assouvissement des besoins fondamentaux listés par la SDT, durant une activité de e-Learning, permettrait de tendre vers cet objectif.

Par ailleurs, le e-Learning possède une caractéristique majeure : il peut s'appliquer dans un contexte mondial. On peut très bien imaginer que des apprenants asiatiques, africains,

européens et américains utilisent un même système de e-Learning (qui prendrait par exemple la forme d'un site Web). Ceci ne contrevient en rien à l'utilisation de la SDT.

En effet, il a été démontré à de multiples reprises que les trois besoins fondamentaux recensés par la SDT sont interculturels et donc propres à chaque être humain [Ryan, Deci, 2002]. Les recommandations de la SDT apparaissent donc génériquement pertinentes et applicables dans un contexte de mondialisation du e-Learning.

### **2.3.7. La gestion de la motivation : un processus culturellement variable**

Il existe un grand nombre de méthodes pour considérer la motivation. Parmi celles-ci, la théorie de l'autodétermination (SDT) nous semble particulièrement indiquée pour résoudre les problèmes spécifiques au e-Learning.

Comme on l'a vu plus tôt, la SDT stipule que les besoins fondamentaux (pour rappel, en autonomie, en compétence et en relationnel) sont des facteurs d'amélioration de la motivation interculturels, valides pour tout être humain [Chirkov, Ryan, 2001]. Il faut cependant tempérer cela car, si ces besoins sont présents chez tous les êtres humains, les méthodologies pour les satisfaire différeront parfois d'une culture à une autre [Chirkov et al., 2003; Sheldon et al., 2004]. L'importance de prendre en compte les cultures pour motiver durant l'apprentissage est également confirmée dans d'autres théories, notamment dans des travaux en lien avec les théories de l'attribution, des buts personnels, d'auto-régulation [Salili, Chiu, Hong, 2001; Bempechat, Elliot, 2002]. De plus, d'autres éléments propres au e-Learning apparaissent également être sensibles au contexte culturel. Prendre en considération la culture de l'apprenant semble donc non seulement souhaitable mais dans certains cas nécessaire pour bien comprendre son comportement et, de ce fait, pouvoir s'adapter convenablement.

La partie suivante vise à donner des informations sur l'état des connaissances et les méthodologies utilisées en recherches interculturelles. Quelques travaux considérant la culture dans des systèmes de e-Learning sont décrits.

## 2.4. La culture

### 2.4.1. Qu'est ce qu'une culture?

Avant de voir plus en détail les avantages que l'on peut tirer à donner, aux systèmes de e-Learning, la capacité de prendre en compte les différences culturelles de leurs apprenants, intéressons nous à ce que signifie exactement la culture. Dans le domaine des recherches interculturelles et, comme Kashima le mentionne, on retrouve essentiellement deux approches de la culture [Kashima, 2000].

Certains chercheurs voient la culture comme :

*"A process of production and reproduction of meanings in particular actors' concrete practices (or actions or activities) in particular contexts in time and space".*

Un autre groupe considère la culture comme :

*"A relatively stable system of shared meanings, a repository of meaningful symbols, which provides structure to experience".*

En général, lorsque les chercheurs s'intéressent avant tout à la manière dont la culture interagit avec les processus psychologiques d'un individu, ils auront tendance à favoriser la vision donnée par la première définition. Par contre, lorsque les chercheurs cherchent à faire des comparaisons interculturelles, ils emploieront plutôt la deuxième définition car le fait qu'une culture soit vue comme un système stable est important pour pouvoir effectuer des comparaisons.

Le e-Learning peut profiter de chacune de ces deux visions. Par exemple :

- on pourrait notamment s'inspirer de la première définition (la culture vue comme un processus de production de significations) pour ajuster nos interprétations d'évaluations cognitives d'un apprenant de manière à mieux prendre en compte les réactions d'un apprenant dans un contexte donné;
- La seconde définition (la culture comme un système stable regroupant des significations partagées) pourrait être utilisée pour expliquer les différences dans les

résultats, pratiques et comportements d'apprentissage en fonction des groupes culturels concernés.

Ces deux définitions reposent sur le partage de valeurs communes, l'attribution par un groupe donné de significations particulières pour des objets, des termes, des actes ou encore des comportements. Suivant cela, on peut imaginer plusieurs formes de groupes culturels. On peut ainsi parler de cultures propres aux pratiquants d'une activité particulière (musique, sport, art...), de culture d'entreprise ou encore de culture nationale. En définitif, on peut voir un individu comme étant influencé par un ensemble de cultures, selon sa localisation, ses expériences personnelles passées ou encore ses occupations. Du fait de notre intérêt pour un processus géographiquement très étendu comme le e-Learning, nous nous intéresserons ici principalement à la prise en compte des variabilités culturelles entre nations.

#### **2.4.2. Différencier les cultures nationales au moyen de systèmes de valeurs**

L'approche la plus couramment utilisée dans la recherche pour différencier les cultures nationales est d'utiliser une étude formalisant les systèmes de valeurs nationaux.

La plus connue de ces études a été produite par Geert Hofstede [Hofstede, 1980; Hofstede, 2001; URL7]. Hofstede a pris en compte des évaluations d'attitudes de plus de 100000 employés d'IBM. Ces employés provenaient de 66 pays différents et ont répondu à ces évaluations entre 1967 et 1973. Grâce à cette analyse, il a pu définir quatre dimensions culturelles bipolaires nationales. Une cinquième dimension fut ajoutée par la suite. Hofstede réussit alors à déduire des scores pour chacune de ces cinq dimensions pour 40 des 66 nations. Ces scores sont sensés représenter les tendances générales d'une culture nationale. Les scores de 74 nations sont disponibles dans la dernière mise à jour de ce système de valeur [Hofstede, 2001; URL7]. Des études ont par ailleurs validé ces cinq dimensions et les scores obtenus dans des domaines très variés (en lien avec des pilotes de lignes, des étudiants, des « élites » de différentes nations...) et dans de nombreux pays (consulter [Kirkman et al., 2006]).

Les dimensions nationales décrites par Hofstede sont :

**Distanciation du pouvoir (« Power Distance » : PWD)** : cette dimension concerne le degré d'égalité ou d'inégalité existant entre les membres d'une nation. Si le score de cette dimension est grand, cela signifie qu'il y a une grande inégalité dans la répartition des pouvoirs et richesses (par exemple un système de caste).

**Individualisme/Collectivisme (« Individualism/Collectivism » : IDV)** : cette dimension concerne le degré avec lequel la société encourage la réussite individuelle ou collective. Si le score IDV de cette dimension est grand, cela signifie que l'accent est mis sur l'individualité et les droits individuels dans cette nation.

**Masculinité/Féminité (« Masculinity/Femininity » : MAS)** : cette dimension concerne le degré avec lequel la société renforce ou non le rôle traditionnel de l'homme (concernant le contrôle, la carrière et le pouvoir). Si le score de cette dimension est grand pour une nation, cela signifie qu'il existe une grande différenciation entre les sexes dans cette société. Les hommes contrôlent une grande partie de la société et des structures du pouvoir alors que les femmes sont sous la domination masculine.

**Évitement de l'incertitude (« Uncertainty Avoidance » : UAI)** : cette dimension concerne le niveau de tolérance pour l'incertitude ou l'ambiguïté qu'accepte cette société. Si le score de cette dimension est grand, cela signifie que la nation a une faible tolérance pour l'incertitude et l'ambiguïté. Cette société aura donc tendance à beaucoup légiférer, à établir des règles et des régulations de manière à limiter l'incertitude.

**Orientation à long terme (« Long Term Orientation » : LTO)** : cette dimension concerne le degré d'importance des traditions et d'attachement des membres de cette nation aux valeurs du passé. Si le score de cette dimension est grand, cela signifie que la nation donne de l'importance à l'engagement à long terme et au respect des traditions.

Malgré son âge, l'approche dimensionnelle de Hofstede demeure un des travaux interculturels les plus utilisés de nos jours (voir [URL1]). Mais plusieurs recherches alternatives ont acquis une certaine renommée comme le *Schwartz Value Inventory* [Schwartz, 1992], les travaux de Triandis [Triandis, 1995] ou plus récemment le projet GLOBE [House et al., 2004 Javidan et al., 2006]. Au demeurant, il existe un grand nombre

de travaux dont l'objectif est de définir et mesurer les cultures [Bond et al., 2004]. Ces différentes recherches ne partagent pas toujours les mêmes méthodologies, leurs résultats varient parfois notablement et il n'existe pas de consensus dans la communauté pour déterminer l'approche interculturelle que tous devraient adopter. On peut ainsi consulter [McSweeney, 2002] pour une critique de l'approche de Hofstede.

Cependant, en analysant les différentes techniques existantes, Smith et Bond [1998] ont remarqué des convergences dans les résultats obtenus, ce qui tend à valider le concept des dimensions culturelles tel qu'initialement énoncé par Hofstede. Smith revient également sur la controverse existante quant à savoir quel cadre de travail, de GLOBE ou de l'approche de Hofstede, est le plus abouti et le plus proche de la réalité en ce qui a trait à la représentation des cultures et de leur diversité [Smith, 2006]. Il conclut qu'aucune de ces approches ne peut être reconnue objectivement comme parfaite et qu'il importe plus de se consacrer sur les points de convergence entre les différentes études que sur leurs différences manifestes (en termes notamment de philosophie générale, de technicité et de méthodologies utilisées).

### **2.4.3. Des variations culturelles pouvant affecter l'apprentissage**

Comme on l'a vu plus tôt, les apprenants en e-Learning peuvent se retrouver dispersés aux quatre coins du monde. Vouloir comprendre et interpréter les différences culturelles entre nations, notamment du point de vue de l'apprentissage, est donc légitime en e-Learning. De plus, un grand nombre de recherche ont montré que la culture avait une incidence importante sur l'apprentissage, ceci de manière directe ou indirecte (en modifiant des processus en lien avec l'apprentissage). Nous ne disons pas simplement que s'intéresser à la culture d'un apprenant est utile pour un système d'e-Learning, cette prise en compte nous semble extrêmement souhaitable dans le cas de systèmes déployés à l'internationale :

- pour éviter de mauvaises interprétations des comportements d'un apprenant, ce qui pourraient mener à une mauvaise adaptation du système à l'apprenant;
- et également pour sélectionner les pratiques et ressources pédagogiques les plus à même d'influer positivement sur l'apprentissage d'un individu.

Kirkman et ses collègues ont établi une revue de la littérature portant sur 22 années de travaux empiriques utilisant l'approche de Hofstede [Kirkman et al., 2006]. Cette analyse a porté sur 180 articles provenant de 42 journaux différents. Ils ont classé ces travaux en vingt catégories selon le sujet principal qu'ils abordent. Même si les domaines discutés portent pour bon nombre sur des problématiques liés au management, un certain nombre peuvent être rapprochés de facteurs intéressant la communauté du e-Learning. Au niveau individuel (en comparaison des niveaux de groupes d'individus et de pays) des études interculturelles ont ainsi été menées sur les mécanismes culturels liés à la prise de décision, à la motivation, aux attitudes de travail, à l'attribution de récompenses, aux comportements et à leurs liens avec les processus de groupe et la personnalité. Ils citent également de nombreuses références qui pourraient être utilisables pour réfléchir à des systèmes interculturels d'apprentissage collaboratif en ligne (portant sur la gestion des conflits, la création d'alliances ou la négociation).

Sans être forcément liées à Hofstede ou un des autres cadres de travail que nous avons cités précédemment, beaucoup de recherches ont mis en évidence des éléments qu'il serait intéressant de prendre en compte dans des systèmes de e-Learning.

Les émotions sont par exemple très sensibles à l'influence culturelle, sous différents aspects. Par exemple, Scollon et ses collègues ont montré que, en fonction de la culture dans laquelle ils vivent, les individus ressentiront certaines émotions plus ou moins fréquemment [Scollon et al., 2004]. Ainsi, dans la vie de tous les jours, les américains d'origines hispanique et européennes ressentent des émotions positives plus fréquemment que les américains d'origines indienne, japonaise ou asiatique en général. La contraposée est également vraie : les américains d'origines hispanique et européenne ressentiront des émotions négatives moins fréquemment que les individus faisant parties des autres catégories culturelles citées. La variation culturelle sera par ailleurs plus flagrante au niveau de la fréquence des émotions positives que de celle des émotions négatives. Beaucoup de recherches sur les émotions dans le e-Learning tentent justement de favoriser les émotions positives car cela aurait un effet bénéfique sur les processus d'apprentissage. Par ailleurs, comme le mettent en évidence Kim-Prieto et ses collègues, la notion même d'émotion positive diffère selon les cultures [Kim-Prieto et al., 2004]. En analysant des groupes

d'individus provenant de 46 pays différents, ils ont remarqué que dans les pays occidentaux, la fierté était vue comme une émotion clairement positive alors que dans les pays orientaux, elle était fortement rapprochée d'autres éléments à connotation négative. Cela s'expliquerait par le fait que les cultures orientales ont une tendance collectiviste beaucoup plus forte alors que la fierté est un phénomène qui provoque une distanciation, une séparation entre les individus. Scollon et ses collègues ont obtenu des résultats similaires en comparant des groupes d'américains d'origine européenne et hispanique (influence occidentale) avec un groupe d'américains d'origine indienne (influence orientale) [Scollon et al., 2004]. Dans le même ordre d'idée, Shaver et Schwartz ont remarqué en évaluant un groupe de chinois, que ceux-ci rapprochaient la notion d'amour de celle de la tristesse et d'autres émotions proches des sensations d'attachement et de perte [Shaver, Schwartz, 1992], ce qui est plus ou moins paradoxal si on la compare à la représentation de l'amour tel que vu en occident. Enfin, Scherer [1997] s'est notamment inspiré des travaux de Hofstede dans une étude où il a mis en évidence des variations dans l'appréciation faite à des événements générateurs d'émotions.

Directement relié à l'apprentissage, Cassady et ses collègues [2004] ont montré que l'anxiété par rapport aux tests différait dans sa forme entre un groupe d'étudiantes d'origine américaine et un autre groupe d'étudiantes d'origines koweïtiennes. Fischer et Smith [2003] ont également décrit des différences culturelles dans la façon dont on attribuait les félicitations, et donc dans la façon dont celles-ci étaient perçues. Ces informations pourraient tout naturellement être utilisées pour améliorer l'interaction d'un système avec un apprenant qui vient de réussir un exercice.

Enfin, comme on l'a dit plus tôt, les processus motivationnels varient également en fonction de la culture. Ainsi, même si les besoins fondamentaux (en autonomie, en compétence et en relationnel) sont des facteurs d'amélioration de la motivation pour toute personne [Chirkov, Ryan, 2001], les méthodologies pour les satisfaire différeront parfois d'une culture à une autre [Chirkov et al., 2003; Sheldon et al., 2004]]. D'autres travaux en lien avec les théories de l'attribution, des buts personnels ou encore avec celle de l'auto-régulation confirment également l'importance de considérer des éléments culturels si l'on veut correctement traiter la motivation [Salili, Chiu, Hong, 2001; Bempechat, Elliot, 2002].



À la lumière des différentes recherches que nous venons de présenter, considérer la culture d'un apprenant apparaît fortement souhaitable pour assurer la fiabilité de la modélisation de ce dernier dans un STI et ainsi assurer une adaptation de qualité. Pourtant, cet axe de recherche est relativement ignoré dans le domaine. La partie suivante présente néanmoins quelques recherches notables ayant considéré la culture dans les domaines des interfaces homme-machine et du e-Learning

#### **2.4.4. Quelques travaux liés au e-Learning et ayant considéré la culture**

##### **Variabilité des interfaces, utilisation des ordinateurs et cultures**

Certaines recherches dans le domaine des Interfaces Homme-Machine (IHM) cherchent à mettre en évidence des variations dans la conception des interfaces en fonction du pays d'origine de celles-ci. Marcus et Gould [2000] ont ainsi analysé des sites web d'universités et d'organismes de divers pays. Ils ont alors tenté d'expliquer les divergences de conception de ces sites par les différences culturelles mises en évidence au moyen des valeurs différentes des dimensions de Hofstede. Ainsi, selon eux, on pourrait s'inspirer des scores des dimensions de Hofstede pour développer l'interface d'un site Web dont les visiteurs seront membres d'une culture nationale donnée.

Graff et ses collègues [Graff et al., 2004] ont également remarqué que des étudiants chinois appréciaient plus d'utiliser un ordinateur dans un cours que d'autres étudiants d'origine anglaise. En d'autres termes, l'impact émotionnel dû à l'utilisation d'ordinateurs peut varier en fonction des cultures.

##### **Un système de e-Learning visant spécifiquement les aborigènes australiens**

Catherine McLoughlin [McLoughlin, 1999] a, quant à elle, développé un système de e-Learning visant les aborigènes australiens. Elle remarque que beaucoup d'éléments liés à la conception Web peuvent être sujet à une interprétation culturelle comme (1) les emails, les chatrooms, les dialogues entre individus, (2) la présentation d'information, (3) l'organisation des hypermédias, (4) les projets collaboratifs, (5) le partage ou l'interdiction

d'utiliser des ressources, (6) le contrôle interne ou externe des apprenants, (7) les réseaux sociaux et les relations.

McLoughlin s'est également appuyée sur le fait que les besoins des aborigènes étaient uniques et que les ressources culturelles d'apprentissage développées pour les anglo-australiens n'étaient pas du tout appropriées aux nécessités des aborigènes. Ainsi, lorsque l'on conçoit des programmes éducatifs pour les aborigènes, on doit s'inspirer des capacités et des valeurs spécifiques de cette communauté, de ses traditions culturelles et de ses problèmes : il est nécessaire que l'environnement d'apprentissage créé apparaisse authentique aux yeux des apprenants. Les approches d'enseignement basées sur les interactions et le dialogue entre individus sont ainsi particulièrement efficaces.

Le site web développé a mis l'emphasis sur un certain nombre de points parmi lesquels la communication et l'échange de connaissances entre apprenants, le partage des expériences et l'inclusion de tous les intervenants dans la création des connaissances, l'adoption par l'enseignant en ligne d'une attitude de support envers l'apprenant (mentor), la création et la manipulation d'espaces partagés (tels que les tableaux noirs), l'utilisation d'aide provenant de la communauté mais également de l'extérieur de celle-ci.

Suite à l'utilisation de ce projet, des résultats ont montré que le site Web développé renforçait les relations interpersonnelles dans la communauté.

### **Une comparaison interculturelle de la réponse à une stratégie pédagogique intégrée dans un STI**

Johnson et ses collègues [Johnson et al., 2005b] ont reproduit avec des étudiants allemands une expérience menée précédemment sur des étudiants américains [Mayer et al., 2005], visant à confirmer l'intérêt d'utiliser la théorie de la courtoisie (*Politeness Theory*, [Brown et Levinson, 1987]) pour régir les interactions avec un apprenant dans un STI. Selon cette théorie, tous les acteurs d'un dialogue ont un désir d'être approuvé par les autres (nommé « positive face ») ainsi qu'un désir de ne pas être mis en difficulté par les autres (nommé « negative face »). Un certain nombre d'échanges conversationnels peuvent

mettre en péril un de ces désirs ou les deux. Trois stratégies de dialogues sont proposées aux intervenants oraux pour leur permettre d'éviter cela. :

La stratégie de courtoisie positive (« positive politeness ») consiste à mettre l'accent sur l'approbation de celui qui écoute. La stratégie de courtoisie négative (« negative politeness ») consiste à mettre l'accent sur la liberté d'action de celui qui écoute. La stratégie de rapports hors contexte (« off-record statements ») consiste à transmettre des rapports indirects avertissant qu'une action serait nécessaire.

Dans le but d'évaluer la réaction à différentes stratégies de courtoisie, les auteurs ont présenté à des étudiants américains huit phrases pour évaluer la stratégie de courtoisie positive et huit autres pour évaluer la stratégie de courtoisie négative. Des traductions fidèles de celles-ci ont été évaluées par des étudiants allemands. Ces phrases se rapportaient à diverses tactiques tutorielles d'interactions.

L'analyse des résultats obtenus a mis en évidence que, pour chaque phrase, quelle que soit la stratégie de politesse employée, les évaluations données par les étudiants américains et par les étudiants allemands étaient sensiblement les mêmes.

La traduction des phrases anglaises vers l'allemand aurait pu poser problème du fait que le pronom anglais « you » peut se traduire de deux manières en allemand : « du » pour une situation plus détendue et « Sie » pour une situation plus formelle. Des mesures complémentaires ont permis de mettre en évidence que l'utilisation de « du » ou « Sie » n'avait pas affecté la perception de politesse dans la version allemande de l'étude.

Selon ses auteurs, cette étude a démontré que la théorie de la courtoisie pouvait s'appliquer également à des tactiques tutorielles de dialogues mis en place par des agents pédagogiques, en anglais et en allemand. Cela permet de penser que des tactiques tutorielles de ce genre peuvent être facilement transférées entre les contextes éducationnels allemands et anglais. On ne peut cependant pas supprimer la possibilité que ce genre de tactique puisse avoir une connotation de courtoisie différente dans une autre langue.

### **Différences culturelles dans l'impact de facteurs motivationnels sur la motivation pour le e-Learning [Lim, 2004]**

L'objectif de cette étude était d'identifier les différences dans la motivation pour l'apprentissage en ligne chez des apprenants coréens et américains. Elle cherchait aussi à déterminer quelles caractéristiques de l'apprenant et quelles orientations culturelles pouvaient influencer la motivation pour de l'apprentissage en ligne.

Cette étude a mesuré à quel point différents facteurs motivationnels étaient importants aux yeux des apprenants. Ces facteurs, au nombre de six, sont :

- le renforcement (l'usage de moyens incitatifs – des contrôles notés par exemple - pour augmenter la probabilité qu'un individu s'investisse dans l'apprentissage);
- la pertinence de l'enseignement (la valeur de l'enseignement pour l'apprenant en fonction de ses besoins personnels);
- l'intérêt intrinsèque pour la matière enseignée (voir partie 2.3.2.);
- le sentiment d'auto efficacité (voir partie 2.3.2.);
- l'importance d'un environnement émotionnel propice à l'apprentissage;
- et enfin le contrôle ressenti sur l'activité (voir partie 2.3.2.).

L'échantillon de cette étude comprenait 95 étudiants coréens (34 de premier cycle universitaires et 61 gradués) et 141 étudiants américains (78 de premier cycle universitaire et 63 gradués).

En premier lieu, les résultats ont montré que les étudiants américains accordent plus d'importance que les coréens à 4 des 6 facteurs mesurés (le renforcement, la pertinence, l'intérêt intrinsèque et le sentiment d'auto efficacité). Les étudiants coréens attachent, quant à eux, plus d'importance pour le contrôle sur l'apprentissage que leurs homologues américains. L'importance de l'environnement émotionnel est, quant à elle, relativement

similaire dans les deux cultures. En résumé, on remarque qu'une différence culturelle significative est mise en évidence pour 5 des 6 facteurs motivationnels observés.

Cette étude a également détecté des différences culturelles en analysant des groupes spécifiques. Par exemple, les élèves américains de premier cycle accordent plus d'importance à l'environnement émotionnel que leurs homologues coréens alors qu'il n'y a pas vraiment de différence sur ce point entre les étudiants gradués.

D'autres critères affectent les réponses dans cette étude. Ainsi, les filles accordent plus d'importance au contrôle sur l'activité que les garçons. L'importance du sentiment d'auto efficacité varie, quant à lui, en fonction de l'emploi des étudiants en dehors de l'université (sans emploi, mi temps, plein temps).

Enfin, l'auteur a mis en avant le fait que tous les étudiants, quel que soit leur profil culturel et personnel, considèrent que la pertinence de l'activité est le facteur de motivation le plus élevé. Il a également remarqué que les étudiants mentionnent le relationnel affectif avec l'enseignant comme le principal manque dans des activités de e-Learning

Pour conclure, l'auteur pense qu'un système de significations (variabilité culturelle de la signification de quelque chose) peut être employé pour expliquer les différences culturelles dans la motivation pour le e-Learning. Il soutient également qu'il est nécessaire de prendre en compte d'autres critères que la culture (le sexe, le niveau d'éducation, etc) pour expliquer les différences de motivation entre des individus ainsi qu'entre des groupes.

## **2.5. Conclusion**

Dans cet état de l'art, on a tout d'abord présenté le domaine du e-Learning et notamment les Systèmes Tutoriels Intelligents et mis en évidence qu'améliorer leur pouvoir de motivation apparaît comme un enjeu de plus en plus important.

La théorie de l'autodétermination, que nous avons présentée, propose une approche pour traiter de la motivation jusque là originale dans le domaine des STI. Chercher à améliorer la motivation d'un apprenant par l'entremise de cette théorie revient à créer un

système de e-Learning qui encourage la satisfaction de ses besoins motivationnels fondamentaux.

Mais les méthodologies pour satisfaire ces besoins, tout comme un grand nombre d'éléments en lien avec les ITS, peuvent varier en fonction du profil culturel de l'apprenant. L'utilisation de données provenant d'études interculturelles tel que le système de valeurs proposé par Geert Hofstede, peut permettre de créer, au sein de STI, un processus d'adaptation prenant en compte la culture de l'apprenant considéré.

Dans ce qui suit, nous présentons les principes du système motivationnel et culturellement conscient que nous avons développé. Pour l'aspect motivationnel, on veut ainsi proposer un système qui encourage les besoins d'autonomie, de compétence et de relationnel décrit dans la SDT. Pour l'aspect culturel, on veut proposer une méthodologie qui prenne en entrée des données provenant de systèmes de valeurs tels que celui de Hofstede et s'inspirent de celles-ci pour fournir une adaptation en fonction du profil culturel d'un apprenant.

## **Chapitre 3. Conception d'un système MOCAS**

### **3.1. Introduction**

Comme spécifié dans l'introduction de cette thèse, un veut améliorer les STI de manière à ce qu'ils puissent tenir compte de la motivation et de la culture. Dans ce but, nous proposons de créer des STI qui visent d'une part à affecter positivement l'état motivationnel de l'apprenant et, d'autre part, à pouvoir prendre en considération son profil culturel. Ce type de système a été nommé MOCAS pour « MOtivational and Culturally Aware System » (système motivationnel et culturellement conscient). Mais avant d'en venir à discuter des deux aspects primordiaux de MOCAS que sont les prises en compte de la motivation et de la culture, nous détaillons, dans la partie suivante l'influence qu'ont ces deux éléments sur le comportement d'un individu.

### **3.2. Concilier, au niveau individuel, motivation et culture**

#### **3.2.1. Vers un modèle computationnel**

On a vu dans l'état de l'art précédent que, dans bien des cas, pour convenablement prendre en compte la motivation mais également pour considérer adéquatement une foule d'autres éléments relatifs au e-Learning telles que l'emploi de stratégies pédagogiques et d'interaction adéquates ou encore la gestion des émotions, il était important de ne pas négliger la culture de l'apprenant. Cependant, les techniques de modélisation des cultures (comme le système de valeur de Hofstede ou encore le projet GLOBE) montrent des informations la plupart du temps relatives aux spécificités d'un groupe culturel. Lorsqu'on utilise trop simplement de telles études, on risque de faire totalement disparaître les particularités d'un individu en attribuant un profil similaire à tous les membres d'un même groupe culturel [Oishi, 2004; Kirkman et al., 2006]. Par exemple, en utilisant maladroitement les données de Hofstede, on pourrait insinuer que, parce que le Japon est un pays où le collectivisme est élevé (score de la valeur IDV faible), alors aucun japonais n'aura jamais une tendance individualiste. Ce raccourci est bien évidemment erroné. La

faible valeur de IDV est à comprendre comme une tendance générale au collectivisme dans la *société* japonaise. Ainsi, nous pourrions plutôt faire l'hypothèse qu'un japonais aura plus de chances d'avoir une attitude collectiviste qu'un américain (le score IDV des USA étant lui très élevé) sans pour autant que cela soit systématiquement le cas.

La volonté de prendre en compte la culture d'un apprenant dans le processus plus général visant à l'amélioration de la motivation de ce dernier nécessite d'avoir une bonne compréhension de cet individu. On se demande ainsi comment les différentes caractéristiques de son profil personnel vont régir et déterminer l'expression des comportements que l'on peut observer chez cette personne, ces comportements illustrant le niveau d'acceptation culturelle et l'impact motivationnel de l'apprentissage. On veut donc disposer d'un modèle d'interactions décrivant les principaux éléments influençant un apprenant en vue d'expliquer et d'améliorer son comportement d'apprentissage. L'objectif final de cette étape consiste en la possibilité de décliner le modèle obtenu en un modèle computationnel. Ce modèle pourra servir de structure pour un modèle de l'apprenant prenant en compte le profil culturel et l'état motivationnel d'un apprenant.

Inspirés de [Oishi, 2004], nous proposons le modèle présenté dans la figure 3 qui illustre les flots d'influence agissant au sein d'un individu de manière à régir et réguler l'expression de ses comportements. Chaque flèche entre deux modules est à interpréter comme : *A influence B*.



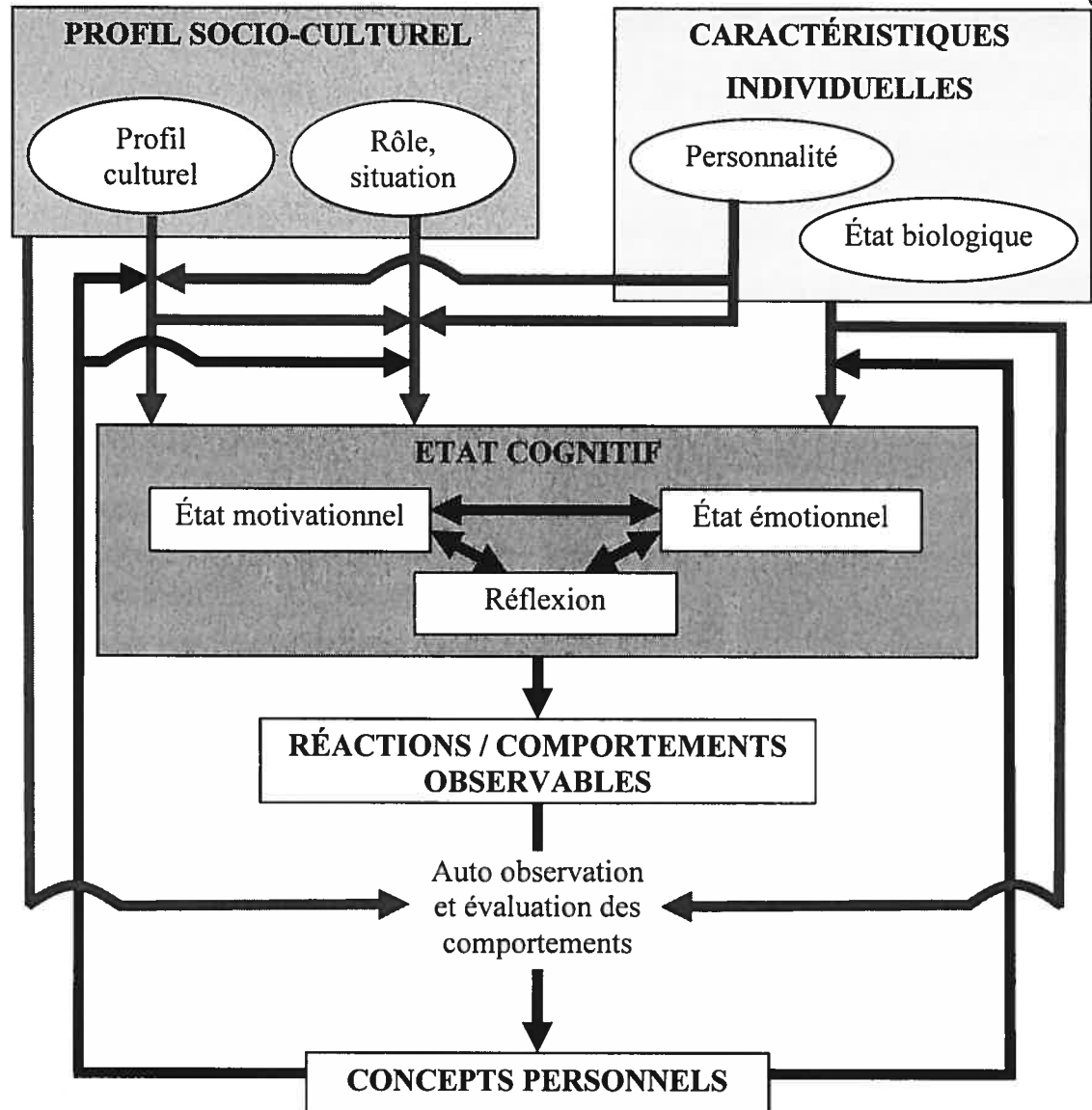


Figure 3 : Diagramme des flots d'influence régissant les comportements d'un individu

L'état cognitif d'un apprenant comprend, dans cette schématisation, son état motivationnel, son état émotionnel et l'état de ses réflexions, ces trois états s'influençant les uns les autres. L'état cognitif agit sur la forme que prennent les réactions/comportements observables d'un individu. Cet état cognitif est soumis à des flots d'influence provenant de deux modules :

- D'une part on distingue les *caractéristiques individuelles* d'un individu. On entend notamment par là sa personnalité (qui peut être déterminé au moyen de questionnaires tels que le Myers Briggs Type Indicator [Myers et al., 1998]). On considère également l'état biologique d'un apprenant. Par exemple, l'usage de

substances psychotropes agit sur les capacités cognitives d'un individu. Un état anormal pourrait être mis en évidence au moyen de capteurs physiologiques même si les études en e-Learning ont généralement sous-entendu que les participants étaient sains et n'ont donc pas vraiment considéré cet aspect de l'apprenant.

- D'autre part, on distingue le *profil socio-culturel* d'un individu où on considère son profil culturel (qui peut être un assemblage d'éléments provenant de plusieurs cultures distinctes) de même que la situation dans laquelle il se situe (apprentissage en environnement académique, dans une entreprise, à la maison...) et des informations sur le rôle social de cet individu (étudiant, tuteur, poste de direction, employé...). Le sexe, la catégorie d'âge, l'ethnie pourrait également être considérés dans ce profil, ceci influant sur le rôle exercé par l'individu dans sa culture.

Comme on le voit, la personnalité d'un individu a un effet sur les influences sociales et culturelles de cette personne. Par là, on veut notamment signifier que, pour chaque personne, l'identification à sa culture et à son rôle social est variable : plus une personne s'identifiera à sa (ses) culture(s) et/ou à son rôle, plus l'influence de ces éléments sur son état cognitif sera grande.

Le rôle social d'un individu de même que la situation dans laquelle il se trouve sont également soumis à une interprétation qui diffère en fonction du profil culturel. Par exemple, un apprenant faisant partie de l'équipe de direction d'une entreprise qui recevrait un commentaire généré par le système et visant à le faire s'améliorer, pourrait réagir plus ou moins positivement selon sa personnalité, de l'importance apportée à la position sociale dans sa culture (que l'on pourrait par exemple supposer au moyen de la valeur de Hofstede PWD : distanciation au pouvoir) et de son identification à son rôle et/ou à sa culture.

Ces caractéristiques socio-culturelles influent donc sur l'état cognitif d'un apprenant. Par exemple, Garcia-Prieto et Scherer [2006] avancent que la soudaine prise de conscience par un individu de son appartenance à un groupe social peut amener des changements dans l'importance qu'il va accorder à certaines valeurs et buts, dans son potentiel d'adaptation (adopter la perspective du groupe plutôt que la sienne), dans la

pertinence qu'il va donner à des standards internes ou externes au moment d'évaluer un évènement.

L'état cognitif obtenu de l'apprenant infléchit alors la forme que prendront ses réactions observables dans un système de e-Learning (celles-ci étant généralement à la source de l'adaptation dans un STI).

L'apprenant est en constante auto-évaluation : il réfléchit sur ses comportements, ce qui lui permet de mettre à jour sa conception de soi (par exemple ses sentiments d'auto efficacité ou encore d'auto valorisation). Cette auto évaluation est elle aussi sujette à l'influence de ses caractéristiques individuelles et de son profil socio-culturel : on ne juge pas ses actes de la même manière en fonction de ces éléments.

Enfin, comme on l'a vu dans l'état de l'art, les concepts personnels peuvent agir rétroactivement sur les états émotionnels et motivationnels, notamment en augmentant ou en atténuant les influences du profil socio-culturel et des caractéristiques individuelles.

Des recherches menées ou utilisées dans le domaine des STI proposent déjà des solutions pour représenter la personnalité d'un apprenant, son rôle, son fonctionnement cognitif. Par exemple, pour représenter l'état émotionnel, on peut considérer un faible nombre d'émotions de base comme le fait le modèle OCC [Ortony et al., 1988] ou encore considérer que les émotions sont des processus dynamiques très variés plutôt que des états fixes [Scherer, 2000]. Même si, comme on l'a vu, la prise en compte de l'état motivationnel est également sujet d'études, l'approche de la motivation consistant à favoriser la satisfaction des besoins motivationnels fondamentaux d'un individu est par contre novatrice. La représentation du profil culturel d'un apprenant n'a en outre jamais été considérée. Bien entendu, du fait de ce dernier point, utiliser ces deux approches dans un processus d'adaptation en e-Learning n'a également jamais été discuté.

### **3.2.2. Discussions sur ce modèle et limitations**

Ce modèle n'est évidemment qu'une modélisation de la réalité. Étant donnée la complexité des êtres humains, il est vain d'espérer pouvoir mentionner dans un modèle tous

les processus régissant l'expression des comportements d'un individu. Ainsi, [Self, 1990] précise que :

*"Student modeling is not about building exact cognitive models. If it were, we would have to solve all the problems of cognitive science, and teach a machine to be a cognitive scientist, before we could build a student model. We only need to model the student to the level of detail necessary for the teaching decisions we are able to take".*

Notre modèle complète l'approche traditionnelle de modélisation des apprenants dans un ITS notamment parce qu'il tient compte des influences internes de la culture et de la motivation sur les comportements des apprenants

On pourrait cependant discuter de certains choix de représentation. Par exemple, dans la figure 3, on aurait pu intégrer les *concepts personnels* dans l'*état cognitif* de l'apprenant mais, sur ce point, nous pensons que la représentation segmentée que nous utilisons permet de mieux mettre en lumière le processus interne.

En fin de compte, notre modèle cherche avant tout à mettre en lumière l'idée que nous nous faisons de l'influence qu'ont l'état motivationnel et le profil culturel d'une personne dans le processus individuel permettant la régulation des réactions observables d'un apprenant.

Dans ce qui suit, nous décrivons les impératifs de conception qu'implique notre volonté de satisfaire les besoins fondamentaux des apprenants, dans un but de motivation en e-Learning. Puis nous discutons de mécanismes de représentation des particularismes culturels visant à renforcer l'adaptabilité d'un système de e-Learning, notamment au niveau motivationnel.

### **3.3. Aspect motivationnel d'un MOCAS**

Dans ce qui suit, nous traitons de la prise en compte des principes motivationnels de la théorie de l'autodétermination (SDT) dans la conception de STI motivationnels. Ce travail a été présenté dans [Blanchard, Frasson, 2004; Blanchard, Frasson, 2006b].

### 3.3.1. Recommandations pour la conception motivationnelle d'un STI

Il est bien connu que les jeux vidéo ont un fort pouvoir d'addiction (en d'autres termes, ils sont fortement motivants de manière intrinsèque). Certaines études sur les STI ont cherché à profiter d'un tel effet et des logiciels d'apprentissage ludiques ont ainsi été développés avec plus ou moins de succès. On peut mentionner le travail de Tan et ses collègues relatif à l'enseignement de l'écologie [Tan et al., 2005]. Le groupe de recherche CARTE a également développé nombre de logiciels ludiques, principalement pour l'armée américaine [Johnson et al., 2005]. Cependant, les raisons expliquant les aptitudes motivationnelles de tels environnements ont rarement été étudiées.

Avant d'entreprendre la conception de MOCAS, nous avons donc étudié les jeux vidéo et plus particulièrement les jeux de rôle selon l'approche de la SDT prônant de faciliter la satisfaction des besoins fondamentaux d'autonomie, de compétence et de relationnel. Ainsi et en accord avec ces trois besoins, nous avons déterminé les trois recommandations suivantes dont devraient s'inspirer les concepteurs d'un système de e-Learning de manière à considérer la motivation des apprenants.

#### **Encourager la liberté des apprenants et la prise de décision**

Par exemple, dans les jeux de rôle, les joueurs peuvent évoluer dans un environnement d'apprentissage sans être contraints de suivre un chemin prédéterminé (liberté de mouvement). Ils peuvent interagir avec des avatars contrôlés par d'autres humains ou par le système de manière à progresser dans l'aventure virtuelle (liberté d'interaction). De plus, il existe fréquemment plusieurs méthodes pour atteindre un objectif du jeu; les joueurs peuvent donc prendre des décisions sur comment continuer leur aventure (liberté de progression dans l'aventure). Le sentiment de liberté semble d'ailleurs être plus commun dans les jeux vidéo que dans beaucoup d'aspects de la vie réelle et nous pensons que c'est un élément central pour comprendre l'importante addiction qu'ils peuvent provoquer.

Allant dans ce sens, nous recommandons de développer des systèmes de e-Learning qui fourniront une grande liberté et encourageront la prise de décision des apprenants. C'est

pourquoi le support à l'autonomie est l'idée principale derrière le développement d'un MOCAS.

### **Fournir de l'encadrement pédagogique seulement quand cela est nécessaire**

Dans les jeux de rôle, des avatars contrôlés par le système peuvent fournir toute sorte de renseignements dans le but de faciliter la réalisation d'objectifs à court ou moyen terme, pour apprendre de nouvelles techniques ou guider le joueur vers une nouvelle étape de l'aventure. Ceci évite aux joueurs de se sentir perdus. L'aide est graduelle pour permettre l'élévation de la difficulté du jeu tout en maintenant le défi proposé au joueur à un niveau élevé. L'aide proposée n'est cependant jamais imposée et le joueur est toujours libre de la refuser (pour éventuellement y revenir par la suite).

Dans les sessions d'apprentissage, les apprenants peuvent également se sentir perdus et ont besoin d'être toujours soumis à un niveau de défi adapté à leurs capacités du moment. Des modules d'encadrement pédagogique doivent donc être considérés dans tout système de e-Learning (ce qui est généralement le cas aujourd'hui).

Cependant, un système qui fournirait trop d'encadrement pourrait être vu comme contrôlant. Il en résulterait une baisse du sentiment d'autonomie de l'apprenant. Cela pourrait également affecter le niveau de défi proposé, affectant, à ce moment là, le sentiment de compétence. Les modules d'encadrement doivent donc interagir avec l'apprenant de manière à encourager son autonomie et sa compétence [Reeve et al., 2004], c'est-à-dire qu'ils doivent fournir de l'information de manière parcimonieuse, si possible en employant des canaux de communications et méthodes diverses, à des moments judicieux (lorsque l'apprenant éprouve réellement une difficulté et non pas dès qu'il demande de l'aide), éviter d'imposer la connaissance à l'apprenant mais, plutôt, la lui proposer. En somme, un système motivationnel doit viser à préserver le sentiment de liberté des apprenants tout en considérant la structuration de l'apprentissage.

Dans cette configuration, les modules d'encadrement pédagogique aideront l'apprenant à se concentrer sur les tâches d'apprentissage sans restreindre ses sentiments

d'autonomie et de compétence. Ceci devrait également aboutir à une augmentation de sa confiance qui souligne un bon sentiment de compétence.

### **Donner la possibilité à plusieurs apprenants de partager une même expérience d'apprentissage**

Les interactions humain-humain existant dans les plus récents jeux de rôle qui se jouent en ligne, ont un impact majeur dans l'intérêt que produisent ces jeux [Delwiche, 2003]. Ceci peut naturellement être relié au besoin de relationnel tel qu'exprimé par la SDT.

Un bon système de e-Learning devrait donc idéalement permettre à plusieurs apprenants de partager un même environnement d'apprentissage et d'interagir les uns avec les autres dans des activités collaboratives ou compétitives, selon les préférences de chacun.

### **3.3.2. Un support à notre approche**

L'analyse et les conclusions à l'origine de nos trois recommandations sont en conformité avec les découvertes récentes de Ryan et ses collègues [Ryan et al., 2006]. Ceux-ci ont mis en évidence de manière empirique, dans quatre études, le lien positif existant entre le niveau de satisfaction des besoins fondamentaux dans des jeux vidéo et la qualité reconnue de ces jeux vidéo (les jeux de « qualité » étant ceux qui ont reçu de très bonnes évaluations d'une communauté de joueurs, sur un site Web spécialisé). Ainsi, plus un jeu satisfait les besoins fondamentaux de ses utilisateurs, meilleure est l'appréciation qu'ils en donnent.

L'idée que nous nous faisons du soutien aux besoins fondamentaux dans les jeux vidéo et sur laquelle nous avons basé nos recommandations, est tout à fait en accord avec la vision qu'en ont présenté Ryan et ses collègues. Il nous semble donc cohérent de penser qu'appliquer nos recommandations durant la période de conception d'un système de e-Learning résulterait en un impact motivationnel positif. Ces recommandations sont par ailleurs génériques et peuvent de ce fait être utilisées dans des systèmes de e-Learning portant sur des domaines variés. De plus, s'être inspiré de jeux vidéo ne signifie pas que ces recommandations ne pourront s'appliquer que dans des systèmes de e-Learning prenant la

forme de jeux éducationnel. Ces directives peuvent également être transposées dans des applications de e-Learning prenant des formes très variées.

Il est à noter que Denis et Jouvelot ont abouti à des conclusions relativement similaires aux nôtres et s'en inspirent pour développer un logiciel de musico-éducation nommé CHA LUVA [Denis et Jouvelot, 2005]. Ces derniers proposent par ailleurs de considérer la facilité d'utilisation des commandes d'un système comme moyen de soutenir le sentiment de compétence, ce qui est là encore confirmé par les évaluations de Ryan et ses collègues. La forme que prend CHA-LUVA est cependant très éloignée de celle de notre projet : il est difficile de parler de STI dans le cas de CHA LUVA du fait qu'il ne dispose pas de module pour représenter les caractéristiques de l'apprenant. De plus sa conception est plutôt atypique et fortement liée à son objectif d'enseignement de la musique alors que notre architecture de MOCAS s'inspire du concept classique de jeu de rôle et se veut le plus générique possible.

### **3.3.3. Architecture modulaire pour un système de e-Learning motivationnel**

L'architecture modulaire qui est présentée dans la figure 4 dérive de l'architecture initiale d'un STI et considère les trois recommandations motivationnelles que nous avons émises.



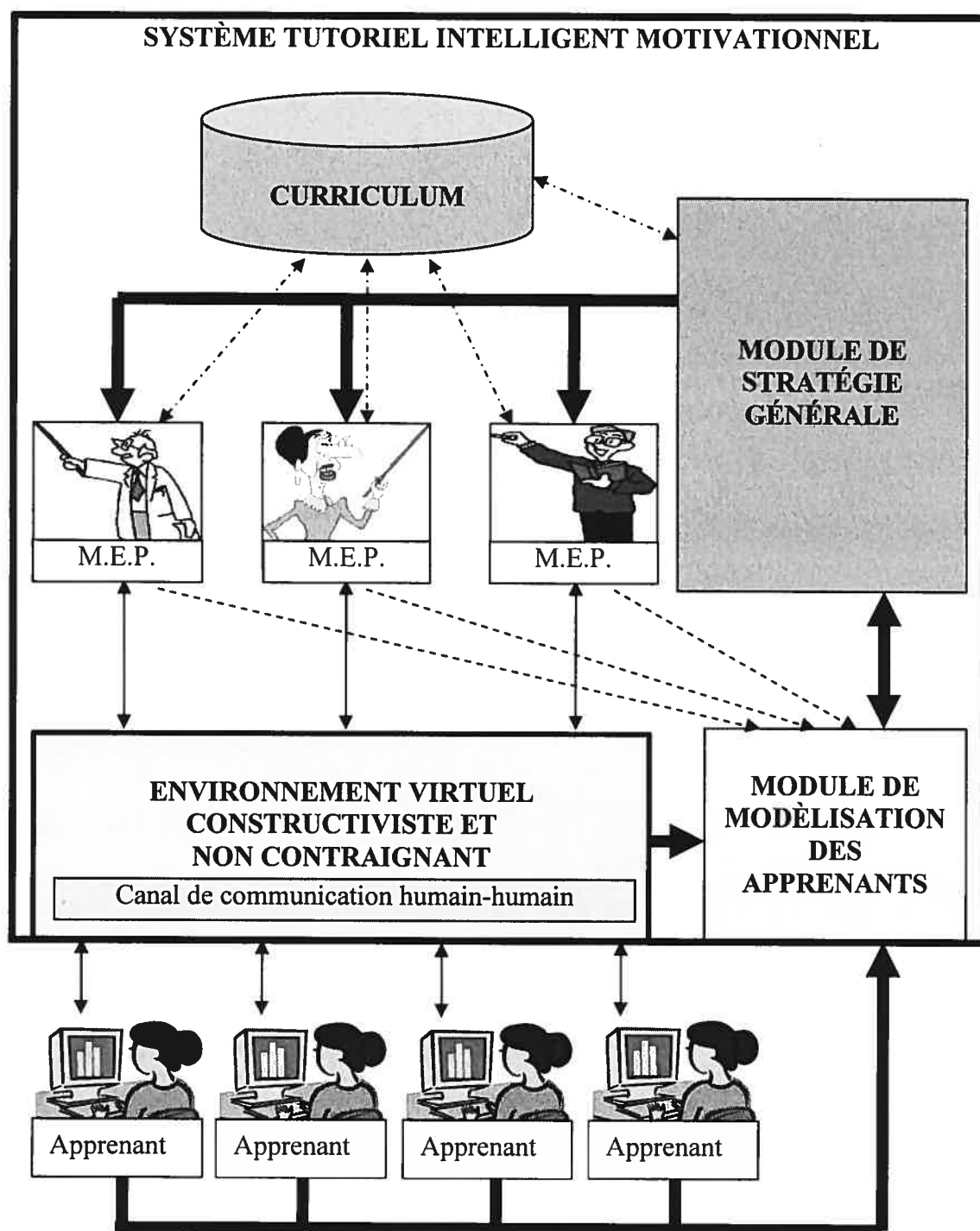


Figure 4. Architecture modulaire d'un système motivationnel de e-Learning

Notre architecture suit une inspiration socio-constructiviste. La théorie socio-constructiviste est définie comme un processus, centré sur l'apprenant, grâce auquel ce dernier donner du sens aux choses qui l'entourent. Cette théorie met l'accent sur le rôle

central que joue l'environnement communautaire d'un apprenant, notamment de par la culture et le langage, dans le processus d'apprentissage [Holmes et al., 2001]. La théorie socio-constructiviste est elle-même dérivée de la théorie du constructivisme, décrite par Bloom et ses collègues [Bloom et al., 1999] de la manière suivante :

*« Receptive act that involves construction of new meaning by learners within the context of their current knowledge, previous experience, and social environment. ».*

On s'accorde aujourd'hui sur le fait que construire sa connaissance au fur et à mesure qu'on la découvre facilite grandement le processus d'apprentissage. Toute matière peut en outre être enseignée de manière constructiviste mais certaines s'y prêtent plus facilement. De Vries et Baillé [2006] précisent qu'« *un environnement informatique pour l'apprentissage humain basé sur des notions constructivistes exploite l'ordinateur pour permettre des parcours ou des constructions individualisées* ». L'apprenant est donc placé au centre de son apprentissage, ce qui concorde avec le besoin d'autonomie visant à lui faire prendre ses responsabilités.

L'environnement virtuel constructiviste de notre STI est également qualifié de non contraignant car l'apprenant doit disposer d'une liberté dans ses interactions et ses comportements aussi étendue que possible. Par exemple, si l'apprenant ne peut emprunter que des parcours d'apprentissage pré établis sans choix possible, l'environnement apparaîtra plus contraignant que si ce même apprenant a plus de latitude pour décider comment passer d'une tâche virtuelle à une autre. En somme, nous voulons favoriser la non linéarité de l'apprentissage.

Pour ce faire, dans notre environnement virtuel constructiviste, l'apprenant peut à son gré interagir avec différents Modules d'Encadrement Pédagogiques (M.E.P) en charge de transmettre l'information d'enseignement dans de bonnes conditions, c'est-à-dire au moment opportun et de manière à ne pas affecter le sentiment d'autonomie de l'apprenant (deuxième recommandation). Deux M.E.P. devront pouvoir proposer une assistance pédagogique différente (dans sa forme et/ou son contenu) pour augmenter les choix offerts à l'apprenant. Cela pourra se faire en assignant des connaissances à des MEP en fonction de

leur rôle affilié (tuteur versus compagnon par exemple, ou encore médecin versus infirmière dans une simulation médicale)

Le module de modélisation des apprenants met continuellement à jour le profil des apprenants par l'intermédiaire d'informations interprétées en fonction des agissements de l'apprenant dans l'environnement virtuel ou grâce à des données provenant de d'autres canaux (des signaux physiologiques par exemple).

Un module de stratégie générale est également présent. Si les M.E.P. ont la capacité de gérer seuls certaines des demandes directes provenant des apprenants, le module de stratégie générale peut lui proposer une stratégie (un scénario pédagogique [Schank, 1977, Labat et al., 2006]) impliquant plus d'acteurs de la session d'apprentissage (d'autres apprenants sélectionnés en fonction de leur profil, plusieurs M.E.P.). Cette activité peut par ailleurs s'étaler dans le temps et, de ce fait, produire des effets motivationnels et d'apprentissage à court, moyen ou long terme.

Dans ce qui suit, nous présentons quelques exemples d'interactions entre un apprenant et notre système de manière à illustrer un peu plus son fonctionnement. Ces interactions seront rediscutées de manière plus technique dans la partie 4.5.

### **3.3.4. Exemples d'interactions système-apprenant(s)**

La figure 5 présente l'interaction la plus classique dans notre système où un apprenant va interroger un M.E.P. pour obtenir des informations relatives à un des concepts du domaine d'apprentissage (a). Le M.E.P. va alors interroger le module de modélisation des apprenants pour connaître l'état des connaissances de l'apprenant et également obtenir le profil de l'apprenant (b). En fonction de ces données, il va récupérer auprès du curriculum les données nécessaires (c) pour satisfaire la requête de l'apprenant (d).

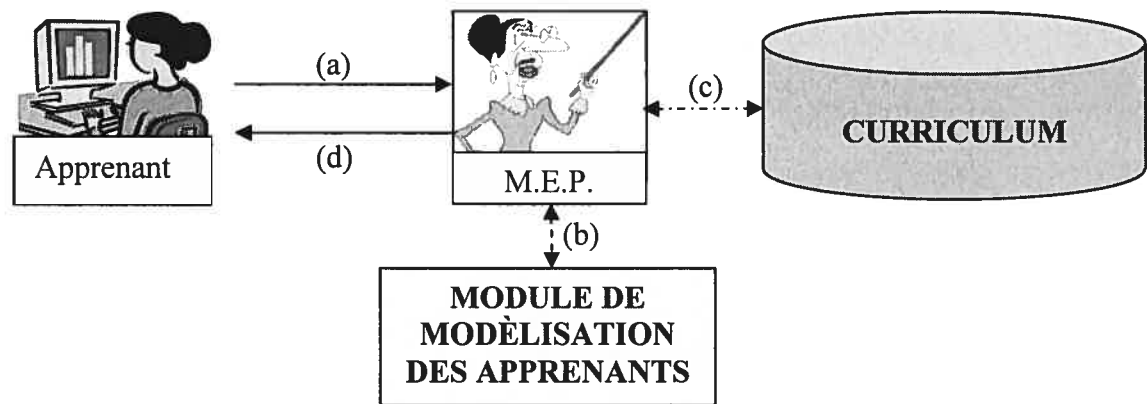


Figure 5. Interrogation d'un M.E.P. par un apprenant au sujet d'un concept

Mais dans certain cas, le M.E.P. interrogé n'a pas les capacités de répondre correctement à l'apprenant. La figure 6 présente une telle interaction.

Par exemple, dans une simulation médicale, il serait malvenu qu'un M.E.P. ayant un rôle d'infirmière puisse renseigner un apprenant qui demande les détails techniques d'une chirurgie vasculaire (a) car cela nuirait à la cohérence de la simulation par rapport à la réalité. Ce genre de «concept» est donc inconnu et inaccessible d'un M.E.P infirmière. Celui-ci va alors rechercher d'autres M.E.P. qui pourraient satisfaire la requête de l'apprenant en émettant une offre vers tous les M.E.P. disponibles (b). Les M.E.P. candidats vont alors consulter le profil de l'apprenant et le curriculum(c) et proposer l'offre qui est la mieux adaptée selon eux pour cet apprenant (b). En fonction des candidatures reçues et du profil de l'apprenant (d), le M.E.P. initiateur (infirmière) va charger le M.E.P. gagnant de l'offre proposée (e), de fournir l'enseignement à l'apprenant (f).

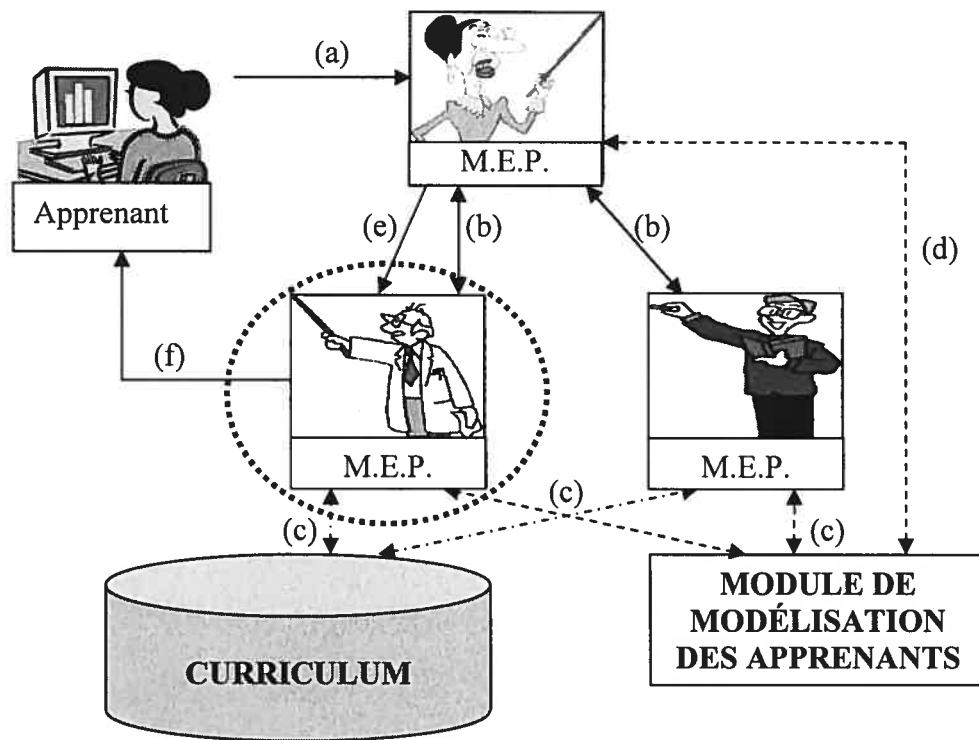


Figure 6. Demande d'information par un apprenant sur un concept qu'un M.E.P. ne maîtrise pas

Par ailleurs, dans d'autres circonstances, le système pourrait prendre l'initiative de l'interaction. La figure 7 présente une telle possibilité.

Ainsi, le module de modélisation des apprenants dispose de méthodologies pour mettre en évidence des comportements non souhaitables (la passivité d'un apprenant par exemple). Lorsqu'un tel état est détecté, il transmet un message ainsi que le profil de l'apprenant concerné au module de stratégie générale (a). Celui-ci va alors déterminer un scénario pédagogique à proposer à l'apprenant (notons qu'on fera là encore attention à la manière de proposer ce scénario, pour ne pas nuire au sentiment d'autonomie de l'apprenant). Un ou plusieurs M.E.P. vont alors être commissionnés pour mettre en action le scénario (b) et interagir avec l'apprenant (c)

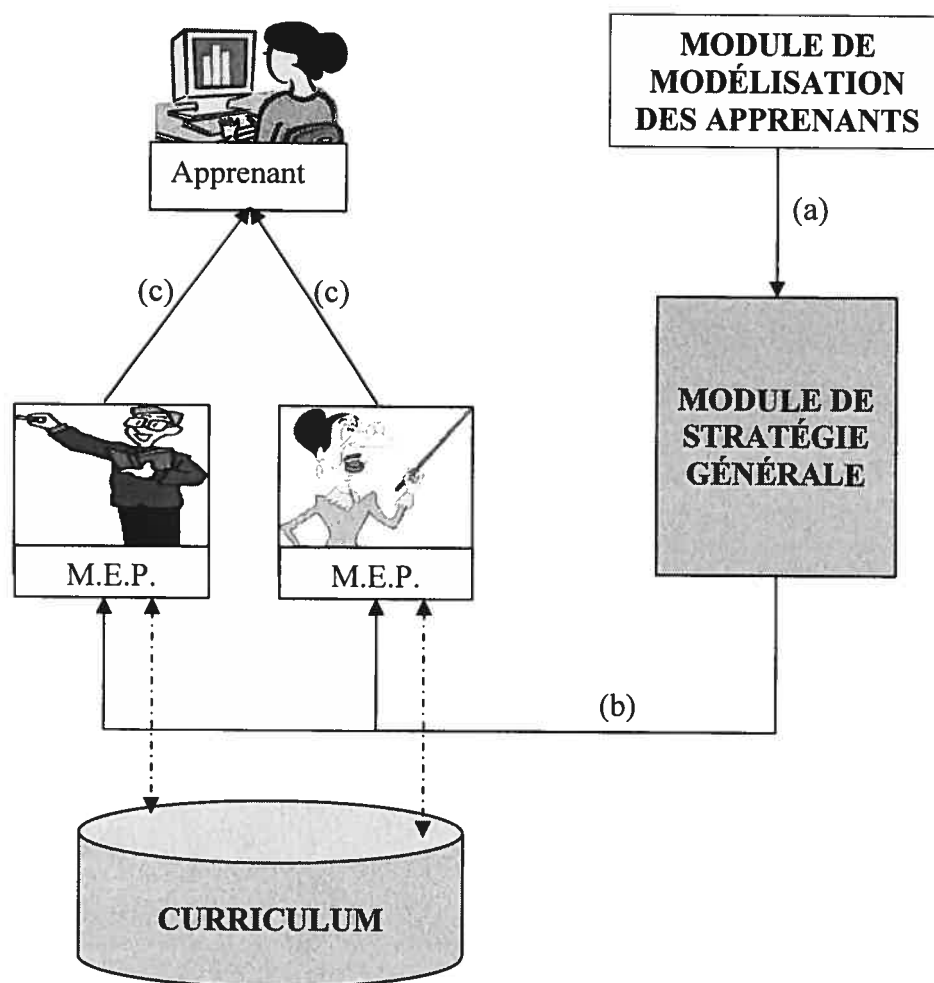


Figure 7. Suggestion par le système d'une stratégie pour encourager la motivation d'un apprenant

La figure 8 illustre un cas où le module de l'apprenant détecterait la présence de plusieurs apprenants appréciant les activités de collaboration et/ou de compétition. Là encore, le module de stratégie générale serait contacté (a) et aura la charge d'initier une stratégie pédagogique pouvant satisfaire l'envie de ces différents étudiants d'activités de coopération ou de compétition. Un (ou plusieurs) M.E.P sera alors assigné (b) à la mise en place de cette tâche particulière entre apprenants (c).

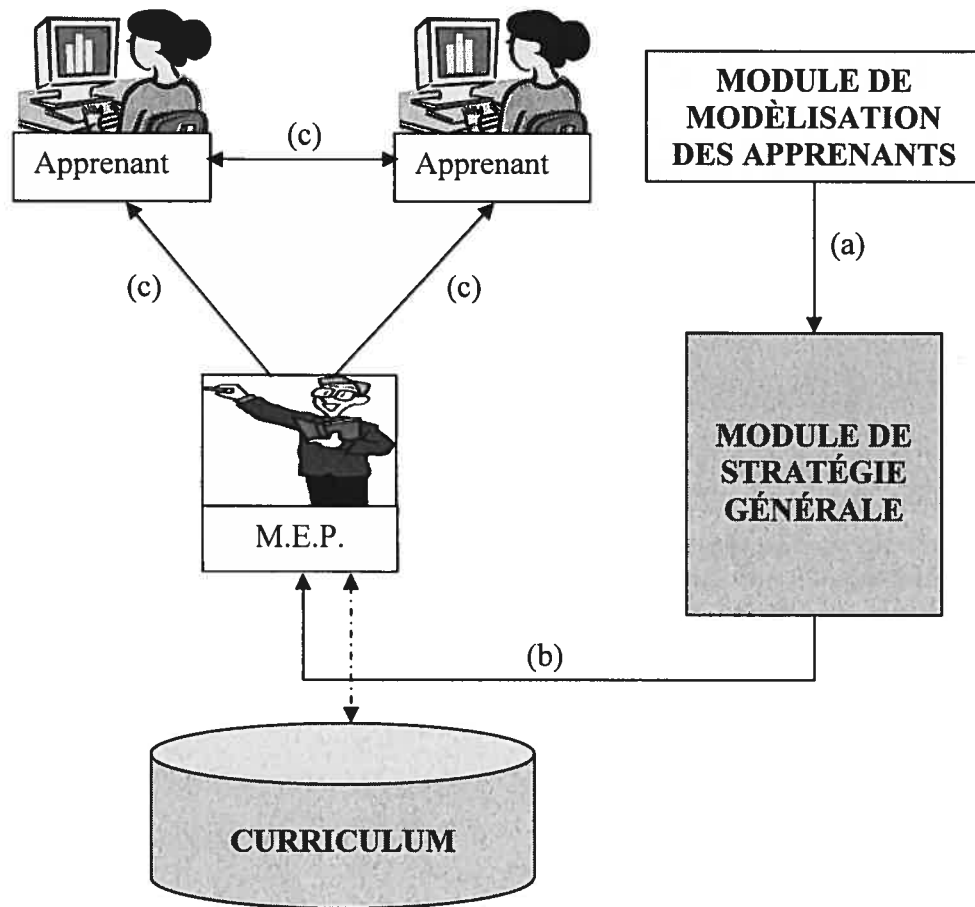


Figure 8. Suggestion par le système d'une stratégie collaborative pour encourager la motivation d'apprenants

### 3.3.5. Portée et application de nos recommandations

Suite à l'énoncé de nos trois recommandations, il nous apparaît ici important d'apporter deux précisions pour bien en comprendre la portée.

- Tout d'abord, comme on l'a dit auparavant même si le domaine qui nous a inspiré est celui des jeux de rôle et que les recommandations que nous avons émises en sont par conséquent fortement inspirées, on peut les considérer aussi pour des systèmes de e-Learning ayant une approche différente de l'enseignement (qu'elle s'inspire ou non des jeux vidéo) car elles vont naturellement dans le sens de la satisfaction des trois besoins fondamentaux de la SDT.

- Deuxièmement, il n'est pas nécessaire que toutes les recommandations que nous avons données soient réunies pour qu'un système de e-Learning puisse avoir un effet motivationnel. Par exemple, si on en revient aux jeux de rôle, un certain nombre d'entre eux ne donnent pas la possibilité de jouer à plusieurs. Cependant, cette option, quand elle est présente, ajoute une dimension particulière à l'expérience motivationnelle ressentie. Par ailleurs, dans le cas de nos recommandations liées à l'autonomie et la compétence, aller à l'encontre des principes que nous avons émis risque très fortement d'affecter l'aspect motivationnel du système qui serait conçu comme le remarquent similairement Ryan et ses collègues dans le domaine des jeux vidéo [Ryan et al., 2006]. Dans ce sens, l'architecture socio-constructiviste présentée dans la figure 4 et inspirée de nos trois recommandations motivationnelles apparaît comme une des possibilités permettant de satisfaire les trois besoins fondamentaux de la SDT mais des solutions satisfaisant ces recommandations autrement (sous une autre forme qu'un jeu éducatif par exemple) pourraient donc être envisagées.

Il faut également bien cerner le rôle (et ses limites) de la plateforme de e-Learning motivationnelle MOCAS que nous proposons. Nous visons avec ce genre de système à permettre aux apprenants de se confronter volontairement à un enseignement (voir la notion de volition dans l'état de l'art) et ainsi, de permettre qu'ils considèrent l'activité d'enseignement en ligne autrement que comme étant rébarbative. La capacité d'instruction d'une telle plateforme de e-Learning reste cependant dépendante de la forme que prendront les cours qui y sont dispensés.

En d'autres termes, la motivation, tout en contribuant à la persistance des étudiants dans l'activité, ne suffit pas à assurer un bon apprentissage : la qualité des ressources pédagogiques utilisées dans la création d'un cours demeure prépondérante et il appartient au concepteur de cet activité de donner les moyens au système développé (c'est-à-dire de bonnes stratégies et documents pédagogiques) pour transmettre les données d'apprentissage avec un haut niveau qualitatif.



### 3.4. Aspect culturel d'un MOCAS

#### 3.4.1. Conception d'un système culturellement conscient

Comme nous l'avons montré avec le schéma des flots d'influence présenté dans la partie 3.2.1., la prise en compte de la culture est un élément nécessaire dans bien des cas pour pouvoir bien comprendre les réactions d'un individu et donc faire de bonnes déductions pédagogiques dans le cas d'un STI. Nos réflexions sur ce sujet ont été publiées dans [Blanchard, Frasson, 2005b; Blanchard et al., 2005, Razaki et al., 2006, Blanchard, Frasson, 2007a]. Nous les présentons dans ce qui suit.

Notre objectif est d'obtenir un système qui prenne en compte les différences culturelles entre apprenants. Nous nommons un tel système « système culturellement conscient » (ou CAWAS pour « *Culturally AWare System* »; MOCAS est donc le regroupement d'un système motivationnel et d'un CAWAS en un seul et unique système). Ainsi, nous nous basons sur un nouveau type de module d'interface que nous avons nommé agent culturellement intelligent (ou CIA pour « *Culturally Intelligent Agent* »). Ce module s'inspire dans son fonctionnement du concept d'intelligence culturelle tel qu'introduit par les travaux de Earley et Mosakowski [2004]. Ceux-ci définissent l'intelligence culturelle dans les termes suivants :

*“An outsider's seemingly natural ability to interpret someone's unfamiliar and ambiguous gestures the way that person's compatriots would”.*

L'intelligence culturelle se divise par ailleurs en trois facettes :

- *La facette cognitive* : la façon dont un individu sera capable de prendre en compte une expérience culturelle, d'analyser cette situation et de tirer partie de sa réflexion pour de futures expériences.
- *La facette physique* : la façon dont un individu sera capable d'adapter ses comportements en fonction d'un contexte culturel particulier.

- *La facette émotionnelle/motivationnelle* : l'état d'esprit dans lequel se trouvera un individu (confiance dans ses capacités à s'adapter, à se faire accepter) dans un contexte culturel particulier. On peut par ailleurs rapprocher cette facette des travaux sur l'intelligence émotionnelle visant notamment à déterminer des stratégies d'actions découlant de la compréhension des émotions des utilisateurs d'un système intelligent [Chaffar, Frasson, 2004].

Ces facettes mises en perspective, on a établi le cahier des charges suivant pour un CIA que l'on voudrait doué d'intelligence culturelle comme son nom l'indique :

- Un CIA doit avoir la capacité, en observant un individu, de nuancer ses analyses et déductions en fonction de la culture de celui-ci (facette cognitive).
- Un CIA doit avoir la capacité d'adapter son interface en fonction de la culture d'un individu (facette physique).
- Un CIA doit avoir la capacité d'adapter ses stratégies d'interactions avec un individu en fonction de la culture de celui-ci (facette émotionnelle/motivationnelle).

Même si le domaine de notre recherche est le e-Learning, les CIA sont des modules qui peuvent trouver des applications dans tout domaine lié aux interactions humain-ordinateur (e-Commerce, conception en tout genre, jeu pour n'en citer que quelques-uns). Les CIA se décomposent en deux modules spécialisés appelés « module d'action culturelle » et « module de transcription culturelle » et prennent place dans un CAWAS ou ils interagissent avec une « base de connaissances culturelles » et d'autres composants. La figure 9 présente l'architecture d'un CAWAS.

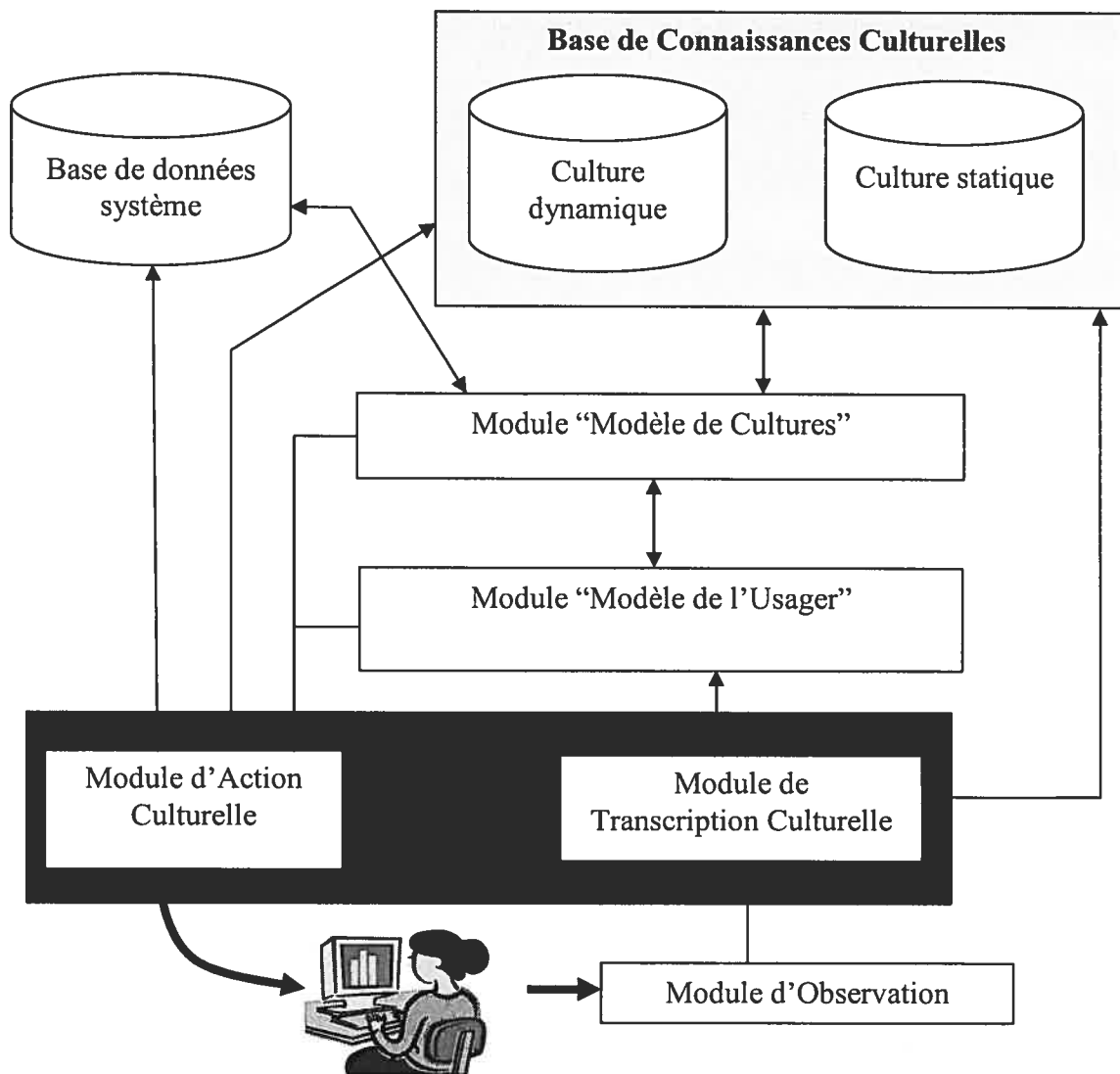


Figure 9. Architecture modulaire d'un système culturellement conscient

La « conscience culturelle » au sein d'un CAWAS se manifeste de la manière suivante :

- En premier lieu, on observe différents paramètres de l'utilisateur. On peut par exemple utiliser des outils d'observation logiciels pour étudier ses interactions avec l'environnement (scrutation des cliques de souris, des actions dans l'environnement par exemple).

- Ces données sont interprétées culturellement par le “*Module de Transcription Culturelle*” (MTC) du C.I.A. qui se réfère pour cela à des données culturelles fournies par une “*Base de Connaissance Culturelle*” (BCC). Un exemple de telles données peut être : « le rôle social de l’usager a une grande importance dans sa culture ».
- La représentation duale de la culture que nous proposons dans la BCC reflète les deux définitions admises de la culture et discutées dans l’état de l’art : le module « *culture statique* » est relié à la culture vue comme un système stable regroupant des significations partagées par un groupe d’individus tandis que le module « *culture dynamique* » convient à la vision de la culture comme un processus de production de significations.
  - La partie “*culture statique*” de la base de connaissance culturelle contient des règles obtenues suite à l’étude de recherches interculturelles (par exemple, les scores des valeurs de Hofstede) et des suppositions sur les comportements culturels associés (par exemple, si la dimension « individualisme/collectivisme » de la nation d’un apprenant [Hofstede, 1980] est forte, cette apprenant risque d’avoir tendance à préférer travailler individuellement).
  - La partie « *culture dynamique* » contient quant à elle des règles empiriques mettant en évidence des caractéristiques particulières propres aux membres d’un groupe culturel, suite à l’analyse des interactions des apprenants avec le système au moyen d’algorithmes d’apprentissage machine (par exemple, le système pourrait ainsi déterminer que les membres d’une culture donnée ont en général une attitude très compétitive, chose qui n’apparaissait pas dans les règles statiques).
  - Si des règles statiques et dynamiques s’opposent, les règles dynamiques prévaudront.
- Le “*Module de Modélisation de l’Usager*” (MMU) reçoit les données provenant du module d’observation et du MTC.

- Le MMU communique alors avec le “*Module de Modélisation de Cultures*” (MMC).
  - Le MMC a la charge de déterminer de nouveaux groupes culturels. Il va ainsi voir si des groupes d’individus ayant des profils similaires peuvent être formés.
  - Le second objectif du MMC est d’évaluer le niveau d’appartenance de l’apprenant à chacun des groupes culturels définis. Dans un CAWAS, un utilisateur est membre, à des degrés différents, de tous les groupes culturels existants. Cette méthode est à rapprocher de l’idée de distance entre cultures fréquemment discutée dans les recherches interculturelles (plus des cultures sont différentes, moins leurs valeurs correspondent). Ces niveaux d’appartenance, mis à jour dynamiquement, seront conservés par le MMU.
  - Comme on le verra plus en détail par la suite, le profil individuel d’un apprenant conservé par le MMU dépend donc notamment de son niveau d’appartenance à chacun des groupes culturels définis ainsi que de ses interactions avec le système.
- Une fois qu’il connaît les particularités d’un utilisateur, le MMU communique un profil complet de l’apprenant au « *Module d’Action Culturelle* » (MAC). Ce profil inclut notamment des informations sur sa personnalité, sur son état cognitif et bien entendu son niveau d’appartenance aux différents groupes culturels.
- Le MAC communique alors avec la « *Base de Données Système* » (dans le cas d’un système de e-Learning, on parlerait ici du curriculum pour connaître les possibilités d’adaptation envisageables). Des règles culturelles présentes dans la BCC permettront de renseigner sur l’intérêt de les utiliser avec un apprenant ayant un profil culturel donné (ses niveaux d’appartenances aux différents groupes culturels. Le choix final de l’adaptation se fera en fonction de cette règle et du profil général de l’apprenant.

L’adaptation culturelle peut se situer aussi bien au niveau de l’interface et du contenu multimédia affiché (facette physique du CIA) que dans l’attitude, le comportement général du système (facettes cognitive et émotionnelle/motivationnelle). Les parties

suivantes décrivent plus en détail les processus d'adaptation que nous proposons pour ces deux aspects de l'adaptation culturelle, dans le cadre du e-Learning

### **3.4.2. Une méthodologie culturelle pour l'adaptation du contenu multimédia en e-Learning**

Comme on l'a dit précédemment, un CIA doit avoir la capacité d'adapter son interface en fonction de la culture d'un individu (facette physique). Dans cette partie, nous présentons une méthodologie pour fournir un telle fonctionnalité. Notre solution s'axe autour d'un type particulier de ressource que nous nommons *patron culturel* (« cultural template »).

#### **La création de patrons culturels de documents multimédia**

Un patron culturel permet de mentionner, au sein d'un document, un ensemble de ressources (du contenu multimédia) pour illustrer un concept donné. Ce contenu multimédia est décrit par des balises qui prennent la forme suivante :

**[type de la ressource – concept à représenter : ressource1; ressource2;...].**

La figure 10 présente un exemple de patron culturel. Dans cet exemple, les possibilités de variations culturelles de contenu sont intégrées à du texte. Il est à noter qu'on pourrait aller jusqu'à remplacer les morceaux de texte eux-mêmes par des balises, ce qui permettrait par exemple d'adapter les informations à la langue de l'utilisateur.

Impact of gas prices rise on everyday life

**[IMG - GASPRICE: europompe.jpg; gas.jpg; gasPrice.jpg]**

During summer 2005, the rise of gas prices had an important effect on vacations plans. Owing to a great number of factors, gas prices have increased drastically since 2004 and reached levels never seen before.

**[IMG - CITY: toronto094.gif; paris008.jpg; newyork\_street.jpg; cityA.gif; berlin.gif]**

**[IMG -CARTRIP: deuche.gif; ontheroad.jpg; car04.gif; tuture.jpg]**

Citizens that had planned to drive out of the city were forced to reconsider the cost of their vacations. Students were especially affected by this situation.


**[IMG - SUMMERREADING: revuepresse.gif; danbrown.gif; vsd.jpg; peltzer.gif]**

It was one more reason for vacationers to take a break from daily problems. Summer readings were all the more appreciated.

Figure 10. Exemple de patron culturel




La figure 11 illustre les résultats obtenus suite à l'interprétation du patron culturel présenté en figure 10 pour des utilisateurs français et américains.

*Impact of gas prices rise on everyday life*



During summer 2005, the rise of gas prices had an important effect on vacations plans. Owing to a great number of factors, gas prices have increased drastically since 2004 and reached levels never seen before.

Citizens that had planned to drive out of the city were forced to reconsider the cost of their vacations. Students were especially affected by this situation.

It was one more reason for vacationers to take a break from daily problems. Summer readings were all the more appreciated.

Adaptation pour un apprenant  
"français"

*Impact of gas prices rise on everyday life*



During summer 2005, the rise of gas prices had an important effect on vacations plans. Owing to a great number of factors, gas prices have increased drastically since 2004 and reached levels never seen before.

Citizens that had planned to drive out of the city were forced to reconsider the cost of their vacations. Students were especially affected by this situation.





It was one more reason for vacationers to take a break from daily problems. Summer readings were

Adaptation pour un apprenant  
"américain"

Figure 11. Deux interprétations d'un patron culturel

Dans la partie suivante, nous présentons le processus d'adaptation culturelle utilisant de tels patrons.

### Le processus d'adaptation culturelle de contenus multimédia

Dans ce processus, on doit tout d'abord générer un patron culturel pour décrire une unité d'enseignement (comme vu dans la partie précédente). Lorsque ce travail est accompli, un fichier contenant ce patron culturel est créé.

Par la suite, un apprenant veut interagir avec un CAWAS adapté au e-Learning. Comme dans un STI classique, le système détecte tout d'abord que l'apprenant doit se voir enseigner certaines connaissances. Le système charge donc un patron culturel correspondant à la matière qui doit être enseignée. Avant que le cours ne soit affiché, le système lance un processus qui va décider quelles sont les ressources multimédia les plus adaptées pour cet apprenant.



Un grand nombre de ressources peuvent représenter un même concept. Par exemple, pour le concept « fête », nous pouvons trouver des images de personnes en train de danser, de manger, de discuter, de rire, de boire du vin, de s'amuser dans une discothèque. La difficulté réside dans le fait de choisir la ressource la plus appropriée pour un apprenant en fonction de ses spécificités culturelles. Ainsi il serait peut être malvenu de représenter le concept de « fête » par une image de gens en train de boire du vin si notre apprenant est originaire d'un pays musulman. Le message perçu par l'apprenant pourrait être décalé de celui que l'on voulait transmettre.

La figure 12 présente le processus permettant de choisir la bonne ressource pour illustrer un concept. Ce processus est expliqué par la suite.

Dans les parties suivantes, nous expliquons comment sont représentés les groupes culturels, les spécificités culturelles des apprenants ainsi que les scores d'intérêt culturel d'une ressource. Par la suite nous décrivons le processus permettant de sélectionner une ressource.

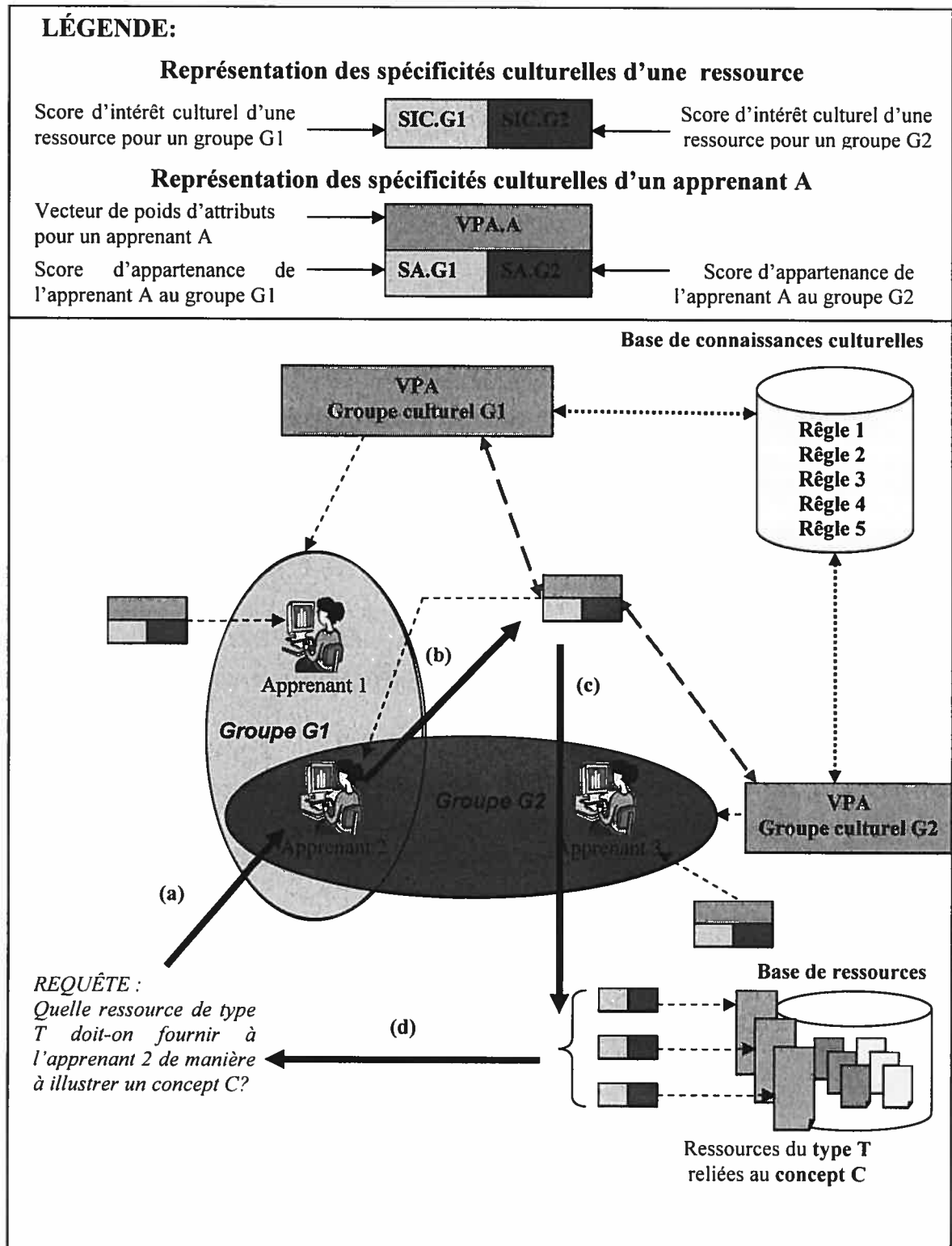


Figure 12. Processus d'adaptation culturelle de contenus multimédias dans un CAWAS

**Représentation des groupes culturels.** La figure 12 montre deux groupes culturels différents G1 et G2. Comme mentionné auparavant, un CAWAS contient une base de connaissance culturelle remplie de règles culturelles. Un *Vecteur de Poids d'Attributs* (VPA) est relié à chaque groupe culturel. Un VPA est un ensemble de poids qui sont associés à autant de termes (attributs) définis pour illustrer les différentes caractéristiques des apprenants qui pourront être prises en compte par le système. On peut par exemple proposer les attributs « collaboratif », « compétitif », « preneur de risque » ou encore « conservateur ». Ces poids sont initialisés en fonction des règles présentes dans la base de connaissances. Certaines de ses règles peuvent s'inspirer d'études interculturelles comme les scores des valeurs de Hofstede (représentation statique de la culture). D'autres pourraient également être détectées suite à l'analyse des interactions des apprenants avec le système, au moyen d'algorithmes d'apprentissage machine par exemple (représentation dynamique de la culture).

Chaque poids a une valeur comprise entre 0 et 1. Si dans un VPA, le poids d'un attribut est proche de 0, cela signifie que les personnes faisant partie de ce groupe culturel ne seront que très peu caractérisées par cet attribut. À l'inverse, si le poids d'un attribut est proche de 1, les personnes membres de ce groupe culturel auront tendance en général à s'identifier à cet attribut.

**Représentation des spécificités culturelles des apprenants.** La légende de la figure 12 montre les éléments présents dans le modèle de l'apprenant pour représenter ses spécificités culturelles :

- De la même manière que pour les groupes culturels, les apprenants possèdent un VPA personnel pour représenter à quel point leur attitude/comportement est en accord avec chacun des attributs.
- Ils ont également un Score d'Appartenance (S.A.) pour chacun des groupes culturels existants (SA.G1 et SA.G2 dans la figure 12). Le score d'appartenance pour un groupe X (SA.X) est obtenu grâce à la formule suivante :

$$SA.X = \sum_{i=1}^n \frac{1 - |A.VPA_i - X.VPA_i|}{n}$$

Dans cette formule,  $n$  est le nombre d'attributs existant,  $A.VPA_i$  est le poids associé à l'attribut  $i$  pour l'apprenant  $A$  et  $X.VPA_i$  est le poids associé à l'attribut  $i$  pour le groupe culturel  $X$ . On peut remarquer que  $SA.X$  a une valeur comprise entre 0 et 1. Si un  $SA.X$  d'un apprenant est fort (proche de 1), cela signifie que cet apprenant appartient au groupe  $X$ . Si le  $SA.X$  est proche de 0, l'apprenant n'appartient pas beaucoup au groupe  $X$ . On dira donc d'un apprenant qu'il est membre d'un groupe culturel si son  $S.A.$  est supérieur à un seuil préétabli.

La méthodologie que nous avons décrit permet de représenter les caractéristiques personnelles spécifiques à chaque individu (les  $VPA$ , propres à chaque apprenant) ainsi que les influences culturelles ( $S.A$ ) auxquels ils peuvent être soumis, conformément au diagramme des flots d'influence présenté dans la figure 3.

**Représentation du Score d'Intérêt Culturel d'une ressource.** Comme on l'a vu dans la figure 10, dans le patron culturel d'un document, une ressource est indiquée par un doublon représentant le type de la ressource et le nom du concept auquel la ressource est liée. Le Score d'Intérêt Culturel (SIC) indique à quel point il est souhaitable d'utiliser cette ressource pour représenter ce concept pour un groupe culturel donné. Chaque ressource dispose d'un SIC pour chaque groupe culturel existant (voir la légende de la figure 12). Ce score est un nombre compris entre 0 (il n'est pas souhaitable d'utiliser cette ressource avec ce groupe culturel) et 1 (il est tout à fait indiqué d'utiliser cette ressource pour représenter le concept  $C$  pour ce groupe culturel). L'évolution du SIC d'une ressource dépend des résultats des apprenants. Si un apprenant, membre du groupe culturel donné utilise cette ressource et réussit dans l'activité, le SIC de cette ressource pour ce groupe augmentera. Si l'apprenant échoue, le SIC de cette ressource pour ce groupe diminuera.

Une autre approche envisageable serait de faire évaluer la ressource directement par l'apprenant qui y est confronté mais cela pourrait nécessiter beaucoup d'interactions de la part de ce dernier, ce qui pourrait nuire à sa motivation pour l'activité comme on l'a vu dans l'état de l'art.

**Évolution du VPA de l'apprenant.** L'évolution des poids dans le VPA dépend également des résultats de l'apprenant. Si un attribut est utilisé par le CAWAS pour adapter sa réponse à l'apprenant et si cet apprenant réussit dans cette activité, le poids associé à cet attribut augmentera. Si l'apprenant échoue, ce poids diminuera.

**Évolution du VPA d'un groupe culturel.** L'évolution des poids dans le VPA des groupes culturels dépend des VPA des membres de ce groupe. Le CAWAS demandera fréquemment les VPA des apprenants qui appartiennent à ce groupe culturel. Le nouveau VPA pour un groupe culturel sera obtenu en calculant les valeurs moyennes pour chaque poids de chaque règle chez les membres de ce groupe culturel. Ainsi, deux individus ayant un même profil culturel initial (deux personnes identifiées avec les valeurs de Hofstede d'un canadien par exemple) et s'enregistrant dans le système à des moments différents pourraient se voir attribuer des S.A. initiaux différents vu que leur VPA initial sera similaire (calculé en fonction des mêmes règles culturelles) alors que les VPA des groupes culturels auront évolué dynamiquement en fonction des interactions de leurs membres.

**Utilisation des VPA pour déduire de nouveaux groupes culturels.** Il arrivera également plus ou moins souvent que le CAWAS utilise les VPA d'un apprenant en entrée d'un algorithme de catégorisation non supervisé comme une carte auto organisante de Kohonen [Kohonen, 1990]. Les groupes ainsi obtenus sont composés de profils d'apprenants ayant des VPA relativement similaires. S'il y a un nombre suffisant d'apprenant dans un des groupes ainsi formés, le VPA moyen de ce groupe est calculé et devient le VPA d'un nouveau groupe culturel découvert dynamiquement. Le SIC concernant ce nouveau groupe culturel sera initialisé à 0.5 pour toutes les ressources.

### *Sélectionner les ressources*

Comme le montre la figure 12, le processus de sélection de ressource est le suivant.

(a) : La requête demandant de rechercher une ressource de type T pour illustrer le concept C, déduite d'un patron culturel, est initialisée.

(b): Le système obtient l'ensemble des scores d'appartenance (SA.) concernant l'apprenant A.

(c): Pour chaque ressource de type T reliée au concept C, le système obtient les scores d'intérêt culturel (SIC) pour l'ensemble des groupes culturels auquel appartient l'apprenant A. Pour chacune de ces mêmes ressources, un score d'intérêt culturel pour l'apprenant A (SIC.A) est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$SIC.A = \sum_{i=1}^n (SA.X_i \times SIC.X_i)$$

Dans cette formule, n est le nombre de groupes culturels existants actuellement, SA.X<sub>i</sub> est le score d'appartenance de l'apprenant A au groupe culturel X<sub>i</sub> et SIC.X<sub>i</sub> est le score d'intérêt culturel de la ressource pour le groupe culturel X<sub>i</sub>.

(d): La ressource choisie, celle qui obtient le plus grand SIC.A, est insérée dans le document obtenu à partir du patron culturel qui peut par exemple prendre la forme d'un fichier HTML.

### 3.4.3. Une méthodologie culturelle pour la sélection de stratégies pédagogiques

La méthodologie que nous employons pour déterminer quelles sont les stratégies pédagogiques souhaitables pour un apprenant en fonction de son profil s'inspire de la méthodologie utilisée pour choisir la ressource la plus culturellement intéressante.

Lorsqu'elle est définie dans le système, chaque stratégie pédagogique est plus ou moins liée à chacun des attributs pédagogiques en fonction d'un lien de poids  $\omega$  (la somme des poids sur une stratégie donnant 1).

Par ailleurs, une règle culturelle peut avoir été spécifiée pour une stratégie. En fonction des appartenances culturelles de l'apprenant, cette règle donne en sortie un coefficient multiplicateur  $\sigma$ . Elle devra par exemple donner 0 si l'apprenant est membre d'un groupe culturel pour lequel cette stratégie est à proscrire à tout prix mais pourra se voir donner une valeur de 1.5, 2, 3 ou plus si la stratégie est particulièrement indiquée, du

fait des appartenances culturelles de l'apprenant. Si aucune règle culturelle n'est spécifiée pour la stratégie, le  $\sigma$  sera mis à 1 (neutre).

La figure 13 présente la méthode utilisée pour obtenir le SIC d'une stratégie d'apprentissage.

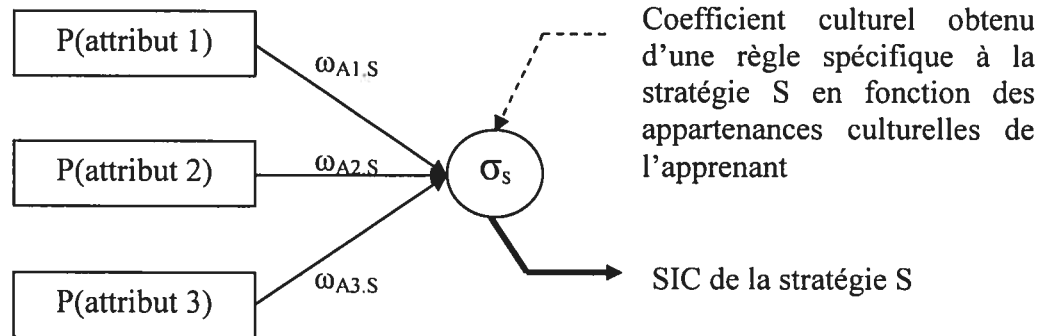


Figure 13. Méthodologie d'obtention du Score d'Intérêt Culturel pour une stratégie pédagogique

Dans l'exemple de la figure 13, on présente un cas où il n'y a que trois attributs pédagogiques (donc trois poids) pour définir les apprenants dans le système. La fonction pour obtenir le SIC d'une stratégie S est donc :

$$SIC .S = \sigma_s \times \sum_{i=1}^n (P.A_i \times \omega_{A_i.S})$$

Dans cette formule, n est le nombre d'attributs pédagogiques,  $\sigma_s$  correspond au coefficient obtenu pour la stratégie S pour l'apprenant,  $P.A_i$  est le poids de l'attribut  $A_i$  pour cet apprenant et  $\omega_{A_i.S}$  est la valeur du lien illustrant l'importance de l'attribut  $A_i$  pour la stratégie S. La stratégie retenue et appliquée sera bien évidemment celle qui obtient le meilleur SIC.

### 3.5. Conclusion

Dans cette partie, on a tout d'abord expliqué l'importance du profil culturel et de l'état motivationnel d'un apprenant dans le processus menant à l'initiation et à la régulation

de réactions/comportements observables de cet individu. S'inspirant de cela, nous avons proposé deux architectures modulaires de systèmes informatiques :

- L'une vise à considérer la prise en charge des trois besoins fondamentaux définis dans la SDT. Pour ce faire, on a identifié trois recommandations pour concevoir des systèmes soutenant les besoins fondamentaux d'un apprenant. L'architecture résultante s'articule autour d'un environnement virtuel constructiviste où plusieurs apprenants vont pouvoir interagir avec des « Modules d'Enseignements Pédagogiques » variés capables de mettre en œuvre des méthodologies diverses pour leur transmettre la connaissance du domaine d'apprentissage.
- L'autre permet une adaptation culturelle au sein d'un système informatique, s'inspirant pour cela de la notion d'intelligence culturelle. Des termes que nous appelons « attributs pédagogiques » permettent de décrire les caractéristiques d'un apprenant. L'importance de ceux-ci pour un individu est initialisée notamment en fonction de son profil culturel puis mise à jour en fonction des interactions de cette personne dans le système. Ces attributs sont au centre de processus permettant d'adapter l'interface et les stratégies d'interaction du système en fonction des appartenances culturelles de l'apprenant dynamiquement déduites et que nous nommons « scores d'appartenance ».

En fin de compte, une architecture modulaire ne demeure qu'une représentation abstraite du fonctionnement d'une application. Dans la partie qui suit, nous décrivons l'implémentation concrète d'un MOCAS (système motivationnel et culturellement conscient) sous la forme d'un système multi-agents directement inspiré des travaux que nous venons de détailler.



## Chapitre 4. Développement d'un prototype multi-agents de MOCAS

Dans cette partie, nous discutons du prototype de MOCAS que nous avons réalisé. Ce prototype suit une architecture multi-agents, s'inspirant des deux architectures modulaires précédemment présentées et permettant de traiter nos aspirations culturelles et motivationnelles. Selon [Jennings, 2001], un Système Multi-Agents permet notamment de représenter la décentralisation naturelle d'une tâche, des centres de contrôle multiples, des intérêts en compétition. Cette remarque montre qu'un Système Multi-Agent apparaît tout à fait indiqué pour transcrire l'architecture motivationnelle modulaire que nous avons présentée en 3.3.3. (chaque module sera ainsi représenté sous la forme d'un agent).

Nous décrivons donc l'implémentation concrète de notre prototype MOCAS, utilisant la plateforme multi-agents JADE comme base de ce développement. Les principaux protocoles multi-agents présents dans notre prototype sont ensuite expliqués. Et pour terminer nous présentons la suite d'outils auteurs IBIS (Intuitive Builder for Intelligent Systems) facilitant la création de cours pour notre prototype.

Nous allons cependant commencer par faire un rapide survol des concepts d'agents intelligents et de Système Multi-Agents ainsi qu'une courte introduction à la plateforme multi-agents JADE que nous utilisons.

### 4.1. Agents intelligents et système multi-agents (SMA)

Les agents intelligents sont des outils d'intelligence artificielle fréquemment utilisés en e-Learning. Voici quelques définitions choisies du concept d'agent intelligent:

- Pour Russell et Norwig [Russell, Norwig, 2003], le concept d'agent en intelligence artificielle se rapporte à *"anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors"*.

- Wooldridge [Wooldridge, 2002] définit un agent comme *“an encapsulated computer system, situated in some environment and capable of flexible autonomous action in that environment in order to meet its design objectives”*.
- Pour Patti Maes [Maes, 1995], les agents sont vus comme *“computational systems that inhabit some complex dynamic environment, sense and act autonomously in this environment, and by doing so realize a set of goals or tasks for which they are designed”*.
- Enfin, IBM [Gilbert et al., 1995] décrit les agents comme : *“software entities that carry out some set of operations on behalf of a user or another program with some degree of independence or autonomy, and in doing so, employ some knowledge or representations of the user’s goals or desires”*.

D’après toutes ces définitions, dans cette thèse, nous définissons un agent comme une entité logicielle ayant la capacité de percevoir son environnement et d’y agir de manière plus ou moins autonome pour atteindre un objectif (autonomie est ici à prendre en considération au sens d’indépendance; à ne pas confondre avec autonomie au sens de sentiment de responsabilité dont nous avons parlé pour la théorie de la SDT).

En outre, selon [Wooldridge, Jennings, 1995], un agent peut avoir différents types de capacités : selon sa complexité, il peut :

- Être réactif, c'est-à-dire capable de réagir dans un laps de temps limité à un événement environnemental,
- Être proactif, c'est-à-dire capable d’initiative, c'est-à-dire de se définir des buts et tenter de les atteindre sans que ses comportements soient initiés par des événements environnementaux (c’est le cas des agents adoptant le design *Belief, Desire, Intention* [Bratman, 1987; Rao, Georgeff, 1995]),
- avoir des capacités sociales, c'est-à-dire être capable d’interagir avec d’autres acteurs, agents ou humains, via un langage de communication.

D'autres propriétés sont également proposées (par exemple la mobilité d'une machine à une autre) mais ne sont pas toujours reconnues comme nécessaires à une entité logicielle pour obtenir le qualificatif d'agent.

Un Système Multi Agent (SMA) contient plusieurs agents interagissant les uns avec les autres au moyen de communications. Ces agents sont capables d'agir dans un environnement où chacun d'entre eux va agir sous influence et/ou pour influencer différentes parties de cet environnement [Wooldridge, 2002 : p. 105]. Jennings ajoute que, dans un SMA, un agent peut agir/interagir pour atteindre des objectifs au nom d'une entité déterminée comme c'est souvent le cas en e-commerce [Jennings, 2001]. Il peut aussi faire partie d'une initiative de plusieurs agents visant à résoudre un problème trop complexe pour un agent isolé. Par ailleurs, le contexte dans lequel évoluent les agents d'un SMA influence leurs comportements et peut être soumis à des changements dynamiques.

Les agents intelligents sont déjà utilisés dans le domaine des STI : on pense notamment aux agents pédagogiques. Lewis Johnson [Johnson, 1999] les décrit de la manière suivante :

*"Pedagogical agents can be autonomous and/or interface agents that support human learning, by interacting with students in the context of an interactive learning environment."*

Les agents pédagogiques peuvent avoir plusieurs rôles différents dans un environnement d'apprentissage. Ils peuvent par exemple faire office de novice ou d'expert du domaine. Ils peuvent également être amenés à faire le guide, le tuteur ou encore à critiquer un apprenant suivant la stratégie pédagogique qu'ils appliqueront (voir l'état de l'art sur les STI). Dans certains cas, ces agents pédagogiques n'ont pas de réelle représentation graphique accessible à un apprenant mais dans d'autres systèmes, ils peuvent se voir attribuer une représentation physique appelée Avatar : on parlera alors d'agent pédagogique personnifié. Comme le remarquent [Jondhal, Morch, 2002], les agents de ce dernier type peuvent utiliser une gamme variée de techniques pour simuler le comportement humain et interagir avec l'apprenant (expressions faciales, mouvement du corps, position, forme du dialogue...).

Ces agents pédagogiques peuvent par moment être regroupés dans un SMA [Rickel, Johnson, 2000; Traum et al., 2003]. On remarquera cependant que jusqu'à présent, dans la pratique et même si elle gagne en popularité, l'idée de système multi-« agents pédagogiques » a été rarement employée (sans doute du fait de la complexité de sa mise en place), un STI n'utilisant souvent qu'un seul agent pédagogique.

Comme on l'a remarqué précédemment, selon [Jennings, 2001], un SMA permet notamment de représenter la décentralisation naturelle d'une tâche, des centres de contrôle multiples, des intérêts en compétition mais surtout, pour le problème qui nous concerne, des perspectives multiples d'un même problème. Cette dernière capacité est naturellement à rapprocher de l'idée de soutenir, dans un système de e-Learning, le sentiment d'autonomie des apprenants (l'encouragement à faire des choix étant connue comme la méthode par excellence pour satisfaire le besoin d'autonomie [Guay et al., 2000]).

Le choix d'une approche multi-« agents pédagogiques » pour notre problème apparaît donc tout à fait judicieux. Du reste, dans notre architecture de système motivationnel présentée dans la partie précédente, nous faisons déjà figurer la présence de multiples Modules d'Enseignement Pédagogique (MEP). Dans notre réalisation concrète d'un MOCAS, ces MEP prendront donc la forme d'agents pédagogiques.

La partie suivante vise à présenter rapidement les différentes lignes de conduite, inspirées des éléments décrits jusqu'à présent dans cette thèse et qui ont régi le développement du prototype concret de MOCAS.

## **4.2. Spécifications de notre prototype de MOCAS**

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction de cette thèse, le développement de MOCAS est parti d'une constatation relativement évidente : si beaucoup de recherches sont menées dans le domaine des STI, si énormément d'approches ont été étudiées pour représenter les différents modules (pour rappel le curriculum, le modèle de l'apprenant, le planificateur et le tuteur), les systèmes développés pouvant servir pour de nouvelles recherches hors de leur laboratoire d'origine sont actuellement rares. Ainsi, un chercheur voulant se concentrer essentiellement sur une des parties d'un STI (curriculum,

planification, tuteur, modèle de l'apprenant) aura difficilement à disposition un système déjà existant. Une des contributions de cette thèse vise donc à mettre à disposition un STI en libre accès. En composant cette volonté avec nos différentes réflexions sur la motivation et la culture, nous avons émis plusieurs spécifications pour notre système MOCAS.

### **Spécification 1 : un développement modulaire**

Tout d'abord, à fins de réutilisation, l'approche modulaire apparaît essentielle dans notre développement. Nous voulons effectivement avoir la possibilité de retoucher chacun des modules existants sans nécessairement avoir à revoir l'ensemble du système. Par exemple, dans l'idéal, on devrait pouvoir proposer une nouvelle implémentation du curriculum sans avoir à modifier (ou de manière mineure) le tuteur ou le planificateur qui interagissent avec lui. Notre approche multi-agents, par essence modulaire, est donc encore plus confortée.

### **Spécification 2 : un système multi-utilisateurs**

Notre système doit permettre la présence d'utilisateurs multiples de manière synchrone avant tout parce que cela est indiqué par notre troisième recommandation motivationnelle visant au soutien du besoin de relationnel. En deuxième lieu, cela donnerait la possibilité d'utiliser notre système pour des recherches sur l'apprentissage collaboratif. Dans le cadre de recherches interculturelles notamment, on pourrait ainsi mener des travaux visant à l'amélioration de l'intelligence culturelle des apprenants. Pour rappel, l'intelligence culturelle désigne la capacité à adapter ses comportements à des individus ayant d'autres profils culturels.

### **Spécification 3 : l'adaptabilité à plusieurs domaines d'apprentissage**

Notre système doit permettre de traiter de différents domaines d'apprentissage. Ceci est crucial pour que notre système ait une réelle utilité pour la communauté STI. Cependant, on pense fréquemment que plus un système est spécialisé, meilleure est sa capacité d'enseignement. Dans les faits, ce sont d'ailleurs des STI fortement spécialisés qui ont eu le plus de succès. La modularité que nous prôtons dans la première de nos

spécifications pourrait permettre un compromis acceptable. On voudra ainsi pouvoir créer relativement facilement des modules particuliers pour des domaines spécifiques comme, par exemple, des agents pédagogiques capables de mettre en oeuvre des stratégies didactiques par exemple, la didactique regroupant les aspects pédagogiques propres à un domaine particulier.

#### **Spécification 4 : l'usage de JAVA et librairies libres de droit**

Dans un registre plus technique, on va en fin de compte utiliser le langage JAVA et des librairies de développement libres de droit et si possible normalisées pour notre développement. Là encore, afin de faciliter l'utilisation par la communauté STI, on a noté que la plupart des chercheurs sont familiers avec le langage JAVA et qu'un grand nombre des développements s'y sont effectués par son entremise. Beaucoup de librairies traitant de toutes sortes de problèmes informatiques (apprentissage machine, infographie, traitement du signal...) de même que des implémentations de diverses normes sont en outre disponibles gratuitement dans ce langage.

### **4.3. La plateforme multi-agents JADE**

Guidés par notre volonté de développer un MOCAS via un système multi-agents de même que par notre quatrième spécification voulant que nous développions notre système en JAVA, nous avons décidé d'utiliser la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment Framework). JADE est complètement développée en JAVA, suit les spécifications émises par l'organisme FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent), collectif de chercheurs industriels et académiques ayant proposé nombre de standards en lien avec les agents. JADE est de plus un logiciel libre distribué sous une licence LGPL.

La partie suivante fait une rapide description des principales spécificités de JADE.

### 4.3.1. Quelques spécificités de JADE

#### Un agrégat de conteneurs pour définir l'environnement multi-agents

Dans JADE, le monde des agents s'articule autour d'éléments nommés conteneurs. Pour chaque application JADE, il existe un unique conteneur spécial nommé « *conteneur principal* ». Il s'agit du tout premier élément lancé lorsque l'on initialise une plateforme JADE. Par la suite, de nouveaux conteneurs normaux peuvent être créés sur le même ordinateur ou sur des machines distantes de celle du conteneur principal. Reliés explicitement à ce dernier, les différents conteneurs vont former, par agrégat, l'environnement virtuel multi-agents. Les séparations physiques entre agents (différentes machines) deviennent alors transparentes : au sein de l'environnement ainsi créé et via le langage ACL (que nous décrirons plus tard), les agents peuvent communiquer entre eux de la même manière, qu'ils se trouvent sur une même machine ou à distance les uns des autres.

#### Quelques agents particuliers

Plusieurs agents spécifiques sont initialisés dès lors qu'un environnement JADE est créé. Voici une rapide présentation des plus importants d'entre eux.

##### *L'agent de pages jaunes (Directory Facilitator : DF)*

Le Directory Facilitator (DF) est particulièrement important selon FIPA. Sa fonction est similaire aux pages jaunes d'un annuaire. Les agents existant dans l'environnement multi-agents peuvent ainsi s'enregistrer auprès de lui et signifier succinctement le ou les services qu'ils sont aptes à fournir. Un autre agent en recherche d'un service n'aura donc qu'à contacter le DF pour se voir proposer des agents pouvant répondre à ses besoins.

##### *Les agents de surveillance des communications (Sniffer Agent)*

Ces agents sont spécialisés dans la surveillance des flots de communications entre les différents agents. Par conséquent ils sont particulièrement indiqués pour s'assurer du bon déroulement d'un protocole de communication.

### L'agent de gestion à distance (Remote Management Agent : RMA)

Cet agent d'interface est exclusivement dévolu à la gestion de l'application JADE en cours d'exécution. Il permet d'afficher un certain nombre d'interfaces interrogeables permettant de renseigner l'utilisateur humain sur le déroulement de la session JADE. Ainsi, en interrogeant le RMA, on peut notamment obtenir des informations graphiques provenant des deux agents précédemment cités. La figure 14 présente l'interface du RMA où des panneaux contenant les informations obtenues du DF et d'un agent de surveillance sont ouverts.

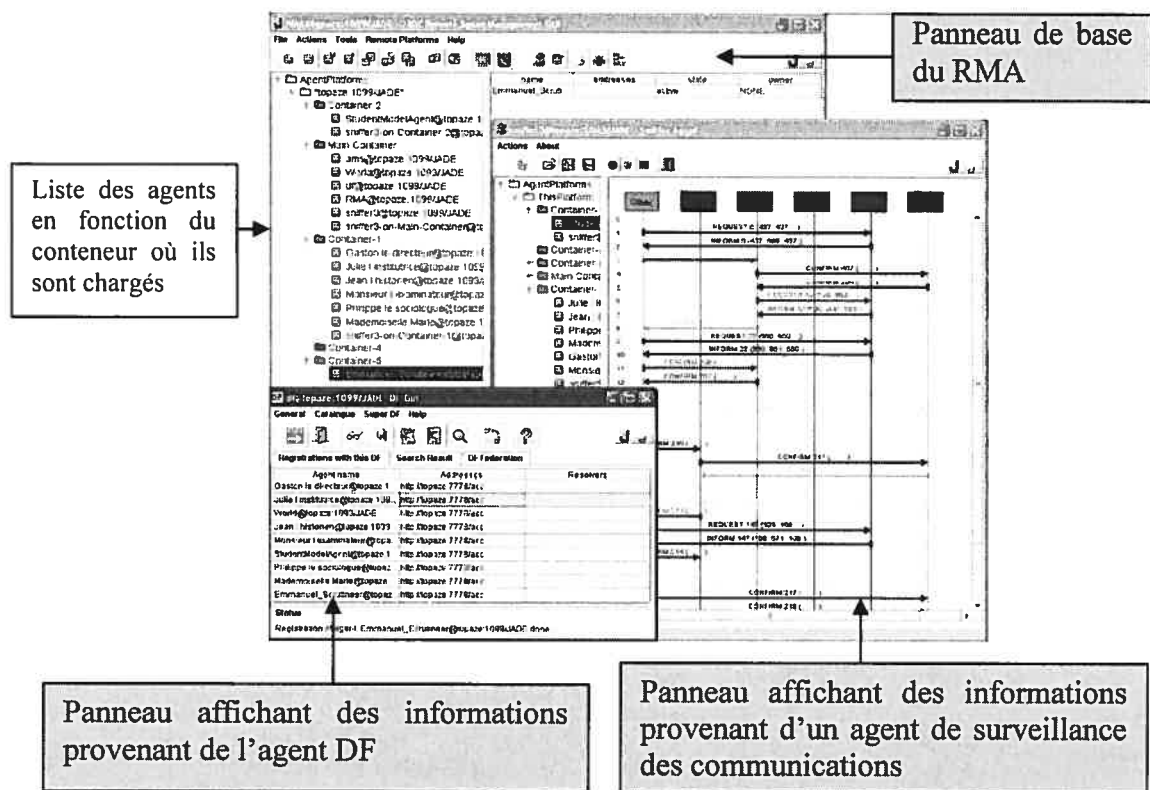


Figure 14. Interface de l'agent RMA de JADE (panneaux des agents DF et sniffer ouverts).

### Les comportements (Behaviours)

Dans JADE et conformément à la définition qui en a été donnée auparavant, les agents sont capables d'autonomie au sens d'indépendance de fonctionnement. Concrètement, cela se caractérise par leur capacité à effectuer un ensemble de comportements qui leur sont propres, sans nécessiter d'interaction extérieure. Ces comportements sont appelés « *behaviour* ».



Un certain nombre de types de base de behaviours sont disponibles dans JADE.

Par exemple, certains sont utilisés pour produire des réactions cycliquement ou encore, en fonction d'un chronomètre. Le développeur d'une application JADE n'a qu'à dériver ces behaviours de base pour donner à ses agents le comportement qu'il désire.

#### 4.3.2. Le langage FIPA-ACL

Comme on l'a vu auparavant, un langage de communication est nécessaire dans tout SMA pour assurer les interactions entre différents agents. Deux langages sont prépondérants dans le domaine : Le Knowledge Query and Manipulation Language plus connu sous le nom de KQML [Labrou, Finin, 1997] et le Agent Communication Language proposé par FIPA [URL 3]. Ces deux langages sont basés sur la théorie des actes de langage [Searle, 1969]. Suivant celle-ci, un message entre agents sera directement lié à une action ou à un acte de communication bien spécifique. Dans ces deux langages, un certain nombre d'actes communicatifs appelés « performatives » sont définis. Ces actes communicatifs servent à étiqueter un message en fonction de son objectif général. Dans le langage ACL, il y a 22 performatives répondant à divers besoins [URL 4] :

- le passage d'information : *inform, inform-if, inform-ref, confirm, disconfirm, propagate, proxy*
- la réquisition d'information : *query-if, query-ref, subscribe,*
- la négociation : *accept-proposal, cfp, propose, reject-proposal,*
- la distribution de tâches ou l'exécution d'une action : *request, request-when, request-whensoever, agree, cancel, refuse,*
- la manipulation des erreurs : *failure, not-understood.*

Par ailleurs, dans ACL et KQML on peut également associer une ontologie à un message pour en décrire le contenu.

JADE fournit une implémentation du langage ACL. Des classes sont donc disponibles pour permettre la création de messages au format ACL de même que leur

envoi, leur réception et leur traitement. Par ailleurs, sur la base des performatives ACL, FIPA a également proposé un certain nombre de protocoles multi-agents pour gérer certaines formes d'interactions très fréquentes entre agents [URL5].

#### 4.4. Architecture multi-agents pour MOCAS

Nous disposons désormais de tous les éléments pour discuter de l'implémentation de notre système. Nous connaissons ainsi sa raison d'être à savoir l'encouragement des besoins fondamentaux à fins de motivation de même que la prise en compte des différences culturelles. Nous avons par ailleurs émis deux architectures modulaires pour permettant la prise en charge de la motivation et de la culture selon la conception que nous nous en faisons. Nous avons mis en évidence l'intérêt d'utiliser un SMA pour l'implémentation concrète des ces architectures modulaires. Nous avons présenté les spécifications que nous nous sommes imposés et nous avons identifié l'API multi-agents JADE comme un outil tout à fait indiqué pour le développement de MOCAS. Cette partie vise donc à présenter l'implémentation concrète d'un prototype de MOCAS.

La figure 15 présente l'architecture concrète de notre système. Comme on peut le remarquer, nous séparons l'aspect serveur de l'aspect client. Dans les SMA, cette distinction n'est pas toujours évidente, notamment du fait de la possibilité parfois offerte aux agents de migrer d'une machine à une autre et également parce que chaque agent peut tout aussi bien fournir des données qu'en demander (un SMA est un système point-à-point).

Dans notre figure, nous voulons essentiellement distinguer les éléments pouvant être en contact direct avec un apprenant (coté client) de ceux qui ne le seront pas ou qui nécessiteront un intermédiaire (coté serveur). On remarque que l'environnement JADE est partagé entre le coté serveur et le coté client. Si on se réfère à notre introduction à JADE, on peut se rappeler que cette plateforme utilise un système de conteneurs pour définir l'environnement où les agents vont pouvoir interagir. Ainsi la disposition de l'environnement JADE dans les cotés client et serveur signifie que, dans la plateforme initialisée par notre application, certains conteneurs se trouveront sur l'ordinateur de l'apprenant alors que d'autres pourront se trouver sur des machines distantes. Les parties suivantes présentent les aspects serveur puis client de notre application.

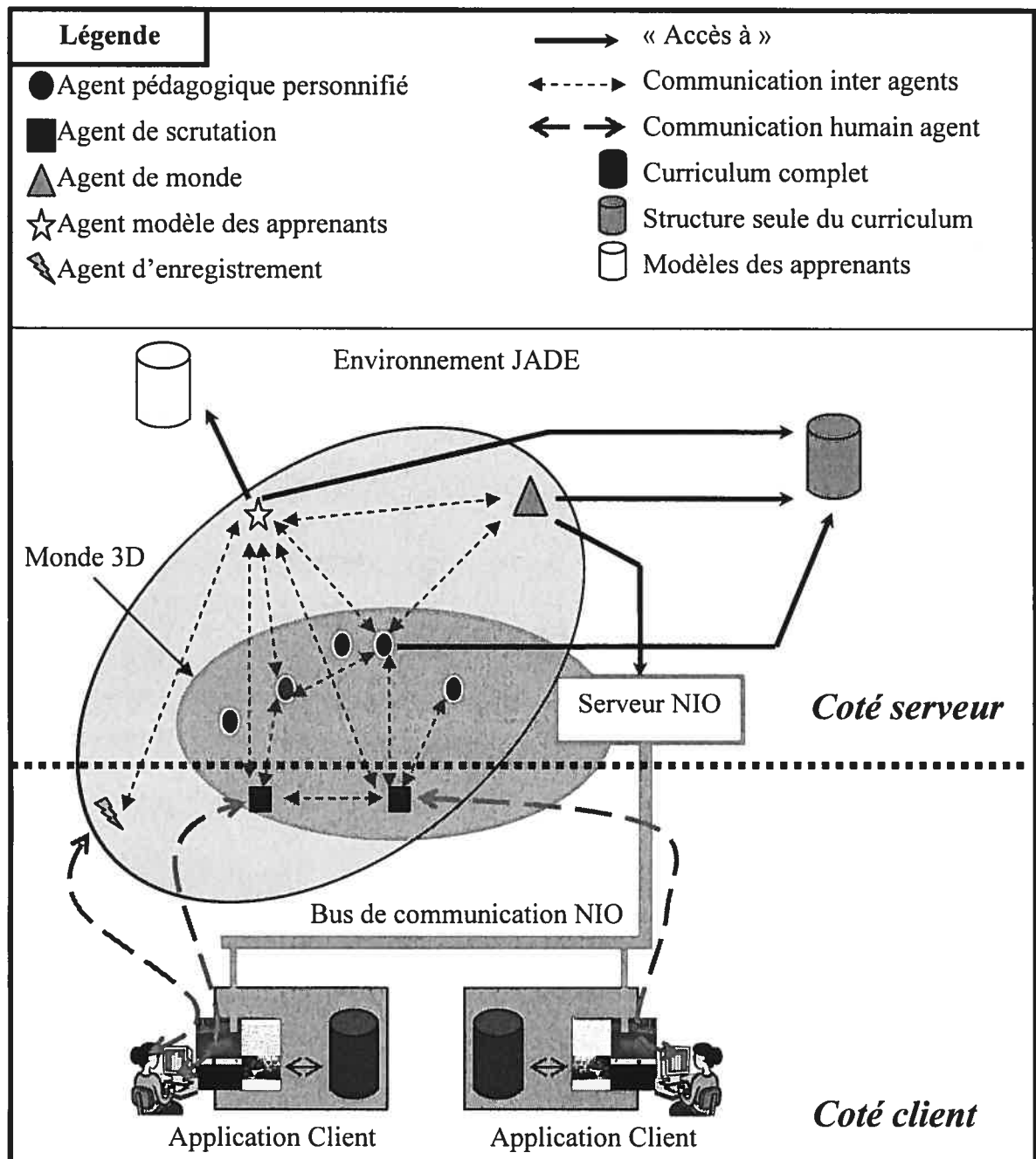


Figure 15. Architecture d'un prototype multi-agents de MOCAS

#### 4.4.1. L'aspect Serveur

##### L'agent de monde

L'élément central de l'aspect serveur de notre système est un agent que nous avons nommé *agent de monde* (« WorldAgent »). Cet agent est le tout premier initialisé dans

notre prototype, juste après le conteneur principal de l'environnement JADE. Comme son nom l'indique, il va avoir la charge de régir le monde virtuel dans lequel l'apprentissage va prendre place. Dans les paramètres qui lui sont fournis pour son initialisation, on trouve l'ensemble des informations nécessaires au lancement d'une activité d'apprentissage dans MOCAS :

- La *structure du curriculum* du domaine, c'est-à-dire la répartition des différentes unités d'apprentissage de même que la description des ressources disponibles pour les enseigner. On discutera plus en détail de cette structure lorsque nous présenterons notre outil d'édition de curriculum.
- Les *données permettant d'obtenir la représentation du monde virtuel* dans lequel pourront évoluer les apprenants. Dans notre prototype, il prend la forme d'un monde 3D.
- Une *liste des descriptions des agents pédagogiques motivationnels* qui vont peupler ce monde virtuel. Là aussi, on décrira en détail ces descriptions lorsque nous présenterons notre outil d'initialisation d'agents pédagogiques.

### **Le serveur NIO**

Suite à son initialisation, l'agent de monde commence par lancer un *serveur NIO* (New Input-Output : librairie JAVA permettant de développer des applications en réseau à grand déploiement). Ce serveur contient la « logique » du monde 3D, c'est-à-dire la position des avatars des apprenants et agents pédagogiques, leur état (sont-ils animés en ce moment? si oui, de quelle manière?) de même que des informations sur la topologie du monde, ces dernières informations permettant d'effectuer un algorithme de recherche de chemin utile aux déplacements des agents pédagogiques. Il reçoit et transmet en continu des informations venant des applications clients de manière à actualiser les positions et états des différents avatars peuplant le monde 3D. Ainsi tous les apprenants ont une vision synchrone, similaire et cohérente de l'environnement dans lequel ils font naviguer leur avatar.

## Les agents pédagogiques personnifiés

Après avoir lancé le serveur NIO, l'agent de monde traite un fichier XML contenant une liste de descriptions des différents agents pédagogiques. Il génère ainsi les agents JADE qui vont pouvoir interagir avec l'apprenant, leur affecte l'avatar 3D qui leur est attribué et situe celui-ci à leur position d'origine dans le monde 3D telle qu'indiquée par la description. Ces agents pédagogiques ayant une représentation 3D, on parlera d'*agents pédagogiques personnifiés*. Pour rappel, ils ont la charge, via leur propre avatar, d'interagir localement avec les apprenants (qui eux-mêmes disposent d'un avatar dans le monde 3D comme on le verra par la suite). Ainsi, si on se réfère au chapitre précédent sur l'adaptation culturelle, c'est donc en partie au niveau des agents pédagogiques que se situent les mécanismes de gestion culturelle des documents multimédia : ces agents ont donc la charge d'interpréter les patrons culturels en fonction du profil culturel de leur interlocuteur.

En outre, les agents pédagogiques ont chacun un rôle dans la session d'apprentissage. Ainsi, comme on l'a dit précédemment, ils sont initialisés avec des capacités d'accès différentes au curriculum et ne peuvent enseigner que les unités d'apprentissage auxquels ils ont accès. Dans le même ordre d'idée, différents agents pédagogiques peuvent être capables de mettre en œuvre des stratégies pédagogiques différentes.

Une fois la phase d'initialisation passée, l'agent de monde, de par ses liens avec l'ensemble des agents pédagogiques, sa connaissance de l'environnement et du domaine d'apprentissage, est tout à fait indiqué pour remplir la charge de module de stratégie générale que l'on avait décrit dans notre architecture modulaire motivationnelle. A l'inverse des agents pédagogiques qui ont une action très localisée, ce module a une vision d'ensemble de la session d'apprentissage, ce qui permet la création de stratégies plus générales. Ainsi, si on se rapporte à notre architecture modulaire d'un système culturellement conscient, on remarque que les processus d'adaptation culturel se situent soit dans l'agent de monde soit dans les agents pédagogiques selon leur portée (générale versus locale). Mais, même dans le cas d'une adaptation locale, l'agent de monde demeurera un interlocuteur privilégié des agents pédagogiques car il sera en charge de tenir à jour les

scores d'intérêt culturel (SIC) des différentes ressources disponibles (voir chapitre précédent sur les processus d'adaptation culturelle).

### **L'agent modèle des apprenants**

Enfin, le dernier agent du côté serveur de notre application est *l'agent modèle des apprenants* (« StudentModelAgent »). Celui-ci a la charge de tenir à jour les profils des apprenants en fonction de leur interaction avec le système. Pour représenter les connaissances de l'apprenant, il a donc accès à la structure du curriculum. Le profil de connaissances d'un nouvel apprenant est donc initialisé en fonction de cette structure. Par la suite, suivant le principe du modèle de recouvrement (overlay), les différentes unités d'apprentissage se verront apposer des labels pour signifier dynamiquement le niveau de connaissances qu'en a l'apprenant.

L'agent modèles des apprenants tient également à jour l'ensemble des caractéristiques d'un apprenant : des données classiques telles que son âge ou son sexe mais également l'ensemble d'attributs pédagogiques ainsi que leur valeur associée comme on l'a vu dans le chapitre précédent. Les attributs qui vont caractériser le profil d'un apprenant peuvent varier d'un cours à un autre. Ils sont décrits dans un fichier XML chargé par l'agent de modélisation des apprenants et associé au curriculum.

Ayant accès aux profils de tous les apprenants existants, l'agent modèles des apprenants a également comme charge de déterminer si de nouveaux groupes culturels peuvent être formés, utilisant pour cela une méthodologie basée sur un algorithme non supervisé de catégorisation (dans notre cas une carte de Kohonen).

## **4.4.2. L'aspect Client**

### **L'interface graphique**

Comme nous l'avons expliqué plus tôt, nous regroupons dans cette partie l'ensemble des éléments en lien direct avec l'apprenant humain. L'élément central de l'application client sera donc une interface graphique qui permettra de créer un pont entre le

monde réel où évolue l'apprenant et l'environnement virtuel que nous avons défini. La figure 16 présente donc l'interface graphique de l'apprenant.

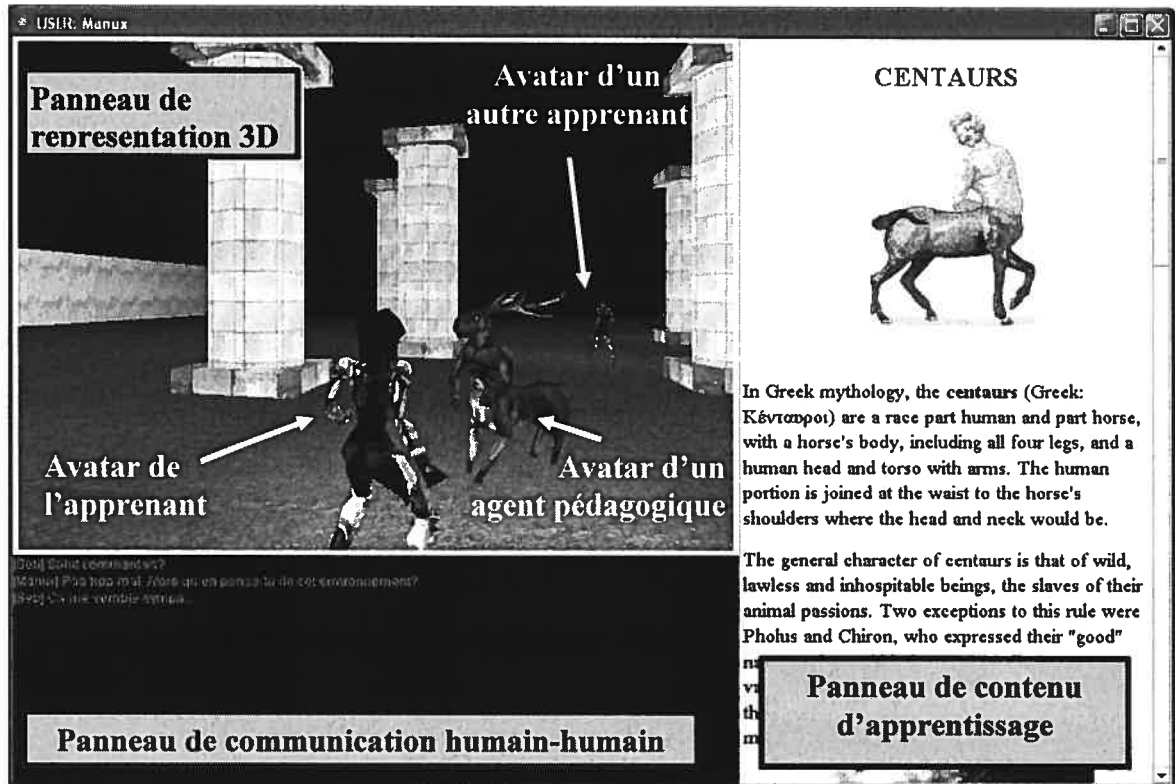


Figure 16. Interface graphique du prototype multi-agents d'un MOCAS

Cette interface est composée de trois panneaux.

- L'un représente la vue qu'a l'apprenant de l'environnement 3D en fonction de la position et de l'orientation de son avatar personnel. Ce dernier est contrôlé au moyen des flèches de direction et peut être déplacé dans tout l'environnement selon le bon vouloir de l'apprenant. Par l'intermédiaire de ce panneau, l'apprenant a également moyen de contacter un agent pédagogique. Il lui suffit pour cela de cliquer avec la souris sur l'avatar de cet agent pour qu'une interaction s'engage avec ce dernier.
- Un deuxième panneau permet aux apprenants de dialoguer les uns avec les autres.
- Suite aux interactions avec les agents pédagogiques, du contenu d'apprentissage s'affiche dans le troisième et dernier panneau. C'est un panneau modulaire qui

permet de présenter différents types de documents. La figure 17 présente différentes configurations d'affichage en fonction du type de contenu.

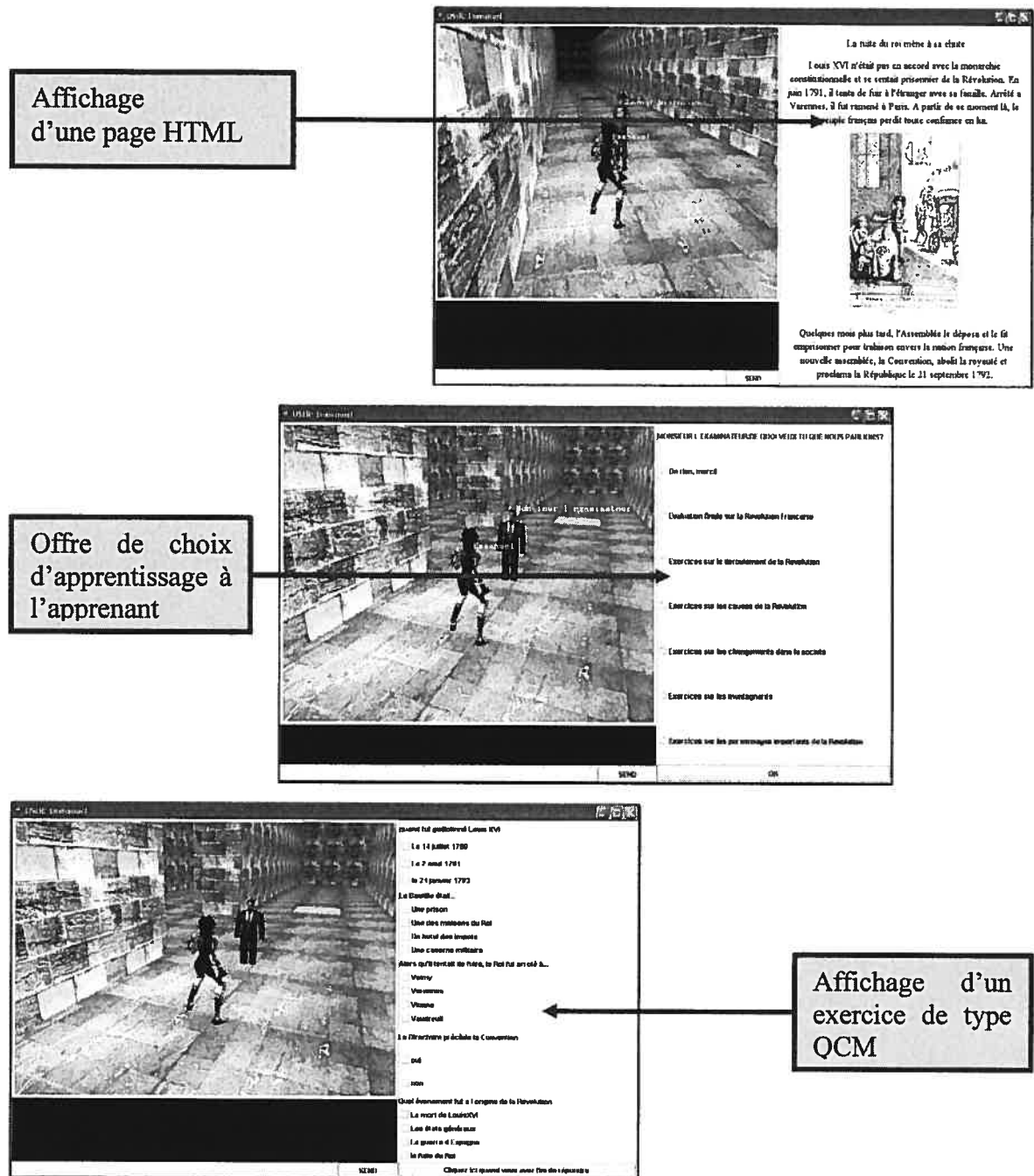


Figure 17. Différentes configurations d'affichage de contenu



Ainsi dans l'interface du haut, une ressource de type HTML est affichée. Dans l'interface du milieu, suite à l'interrogation d'un agent pédagogique, un choix d'activité est proposé à l'apprenant. Dans l'interface du bas, l'apprenant se voit soumis à un questionnaire à choix multiples.

Un script permettant d'afficher des pages web en séquence, durant un certain temps, est également disponible. On peut par ailleurs imaginer de développer des modules en lien avec le domaine d'apprentissage, permettant une spécialisation accrue de l'environnement. Par exemple, en supposant que nous voulions développer une simulation médicale, on pourrait imaginer de créer un module représentant le tableau de commande d'un appareil de radiographie. Agir sur ce tableau de commande permettrait ainsi d'animer l'avatar d'un agent pédagogique représentant un tel appareil.

### **L'agent de scrutation**

Comme on le voit dans l'architecture présentée auparavant dans la figure 15, deux agents sont présents du côté client de notre prototype. Le principal est nommé **agent de scrutation** (« ScrutinizingAgent »). C'est un agent d'interface. Son rôle va être d'une part de transmettre à l'agent de modélisation des apprenants, les informations permettant la mise à jour du profil de l'apprenant. Ces informations pourront être obtenues en scrutant les interactions de l'apprenant dans l'interface (clics de souris, activité, réponses à des questionnaires...) ou par l'intermédiaire de modules extérieurs à la configuration de base de notre prototype de MOCAS (pour la prise en compte de données provenant de capteurs physiologiques par exemple).

L'autre rôle de notre agent de scrutation, en tant qu'agent d'interface, est de répercuter les ordres provenant notamment des agents pédagogiques et visant à l'affichage, dans un format précis (qui peut donc être culturellement adapté) des données d'apprentissage.

### **L'agent d'enregistrement**

Le deuxième agent propre au côté client est l'**agent d'enregistrement**. Cet autre agent d'interface permet de transmettre les données permettant de créer un nouveau profil

d'apprenant. Comme on l'a dit dans le chapitre précédent, ces données seront traitées notamment au moyen de règles culturelles pour initialiser la valeur des attributs pédagogiques décrivant un apprenant dans une session d'apprentissage avec MOCAS. Cet agent est créé sur demande et se supprime de lui-même une fois sa tâche accomplie. La figure 18 présente l'interface permettant à un apprenant humain, de transmettre ces caractéristiques. Comme on l'a dit dans la présentation de l'agent de modélisation des apprenants, les caractéristiques formant le profil de l'apprenant pourront varier d'un cours à un autre. De plus, certaines des caractéristiques du profil seront déduites de données entrées par l'apprenant. Ainsi, dans notre interface, l'attribut « pays d'origine » est demandé mais, dans le profil, les scores pour les valeurs de Hofstede propres à ce pays seront également mentionnés (ces scores pouvant eux-mêmes affecter l'initialisation d'autres attributs).

The image shows two overlapping windows from the MOCAS application. The top window, titled 'MOCAS', is a login dialog with a 'SERVER ID:' label and a text field containing 'lopaze'. Below the text field are two buttons: 'SIGN IN' and 'ALREADY REGISTERED'. The bottom window is a registration form with the following fields and values: 'Choisissez un login : Emmanuel', 'Choisissez un mot de passe :', 'confirmez votre mot de passe :', 'Quel est votre sexe? Male', 'Quelle est votre date de naissance? 1979', and 'Quel est votre pays d'origine? France'. At the bottom of the registration form are two buttons: 'CANCEL' and 'REGISTER'.

Figure 18. Interface d'enregistrement

## 4.5. Quelques protocoles de communication multi-agents présents dans MOCAS

Un SMA se caractérise généralement, comme on l'a vu, par la capacité d'échanges sociaux, de communication entre les agents qui y sont définis. Notre prototype ayant été développé sur la base de la plateforme JADE, ces échanges vont s'y produire en utilisant le langage ACL. Dans ce qui suit, nous présentons quelques uns des protocoles implantés dans notre prototype de MOCAS. Ces protocoles utilisent la liste des performatives de ACL que nous avons présentées auparavant.

### 4.5.1. Enregistrement d'un nouvel apprenant

La figure 19 présente les interactions du protocole permettant l'enregistrement du profil d'un nouvel apprenant.

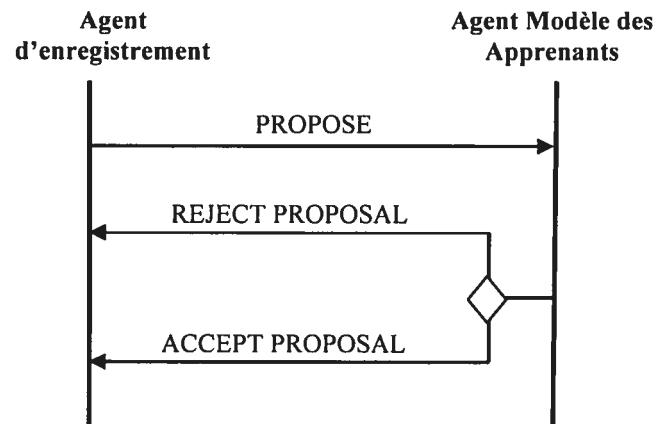


Figure 19. Protocole d'enregistrement d'un nouvel apprenant dans le système

L'agent d'enregistrement, créé suite à la volonté d'un apprenant de s'inscrire au système, récupère les informations provenant de l'interface d'enregistrement (figure 18) et transmet sa proposition à l'agent de modélisation des apprenants.

S'il n'y a aucun problème, ce dernier agent accepte la proposition de l'agent d'enregistrement.

Sinon, s'il existe déjà un apprenant ayant le même « login » ou si l'agent de modélisation éprouve des difficultés à enregistrer le profil de l'apprenant en mémoire, un message de rejet de la proposition sera transmis à l'agent d'enregistrement.

#### 4.5.2. Connexion d'un apprenant au système

Une fois son profil enregistré dans le système, l'apprenant peut se connecter au monde 3D de notre prototype. La figure 20 présente une telle procédure.

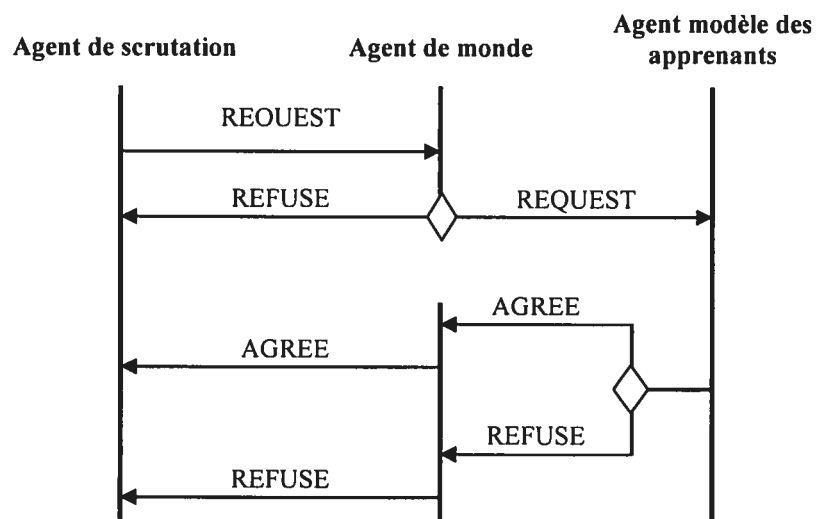


Figure 20. Protocole de connexion d'un apprenant au système

L'agent de scrutation de l'apprenant relaye la requête de connexion de l'apprenant à l'agent de monde.

Celui-ci commence par vérifier si un des apprenants déjà connectés a le même login que celui transmis dans la requête. Si tel est le cas, un refus de connexion est signifié à l'agent de scrutation. La cause du refus (apprenant déjà connecté) est également transmise.

Par contre, s'il n'y a pas de problème à cette étape, l'agent de monde fait suivre la requête à l'agent de modélisation de l'apprenant. Celui-ci s'assure qu'un profil ayant le login transmis existe effectivement et, le cas échéant, compare le mot de passe transmis à celui qui est associé à ce profil.

En fonction de la validation ou non de ces éléments, un message d'acceptation ou de refus de la requête est transmis à l'agent de monde qui se charge de le transmettre à l'apprenant (via son agent de scrutation). Entre temps, si l'apprenant est autorisé à se connecter, l'agent de monde va informer le serveur NIO d'initialiser l'avatar que l'apprenant pourra contrôler dans le monde 3D

#### 4.5.3. Sélection d'un agent pédagogique

Une fois dans le monde 3D, comme nous l'avons expliqué précédemment, un apprenant peut interagir avec des agents pédagogiques personnifiés qui ont la charge de lui fournir de l'enseignement. La figure 21 présente le protocole qui régit ce type d'interactions.

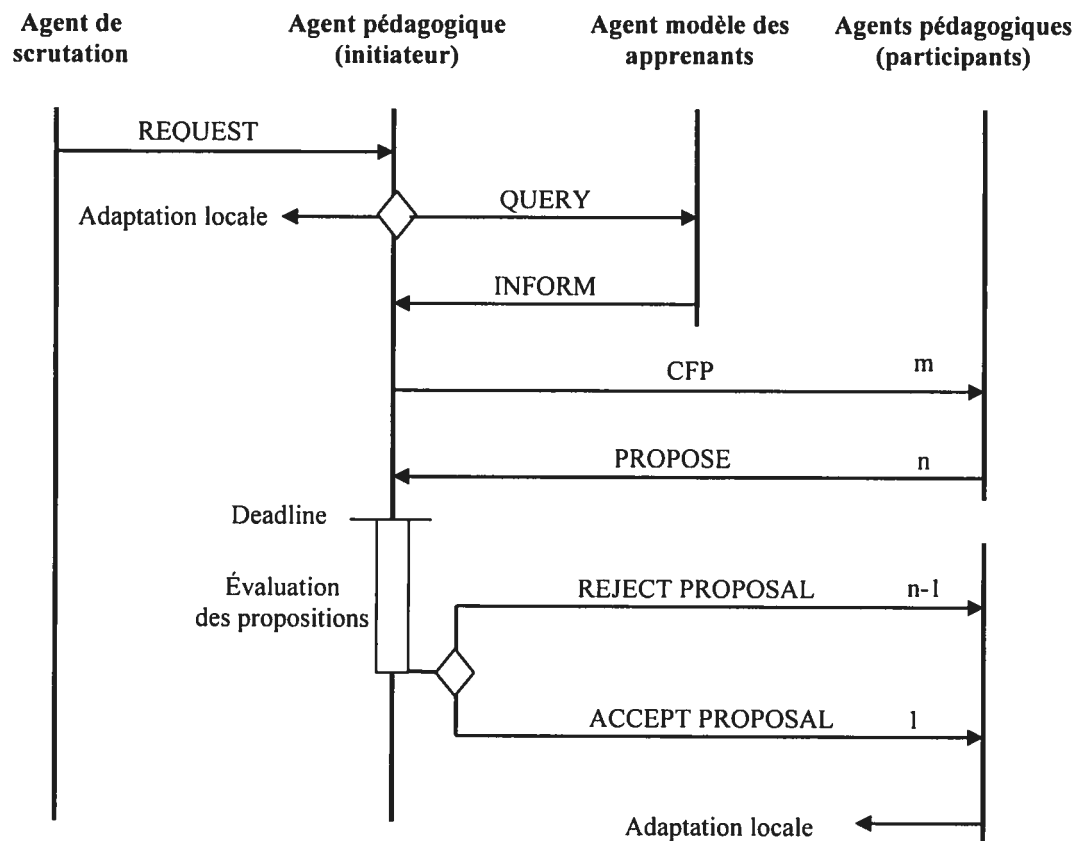


Figure 21. Protocole de sélection d'un agent pédagogique

L'agent de scrutation transmet la requête de l'apprenant à un agent pédagogique concernant l'enseignement d'une unité d'apprentissage. L'agent pédagogique vérifie

localement s'il est apte à fournir un tel enseignement. Si tel est le cas, il va initier le protocole d'adaptation locale (que nous décrivons par la suite). Par contre, si l'agent pédagogique est dans l'incapacité de fournir cet enseignement, son objectif va être de trouver un autre agent pédagogique qui puisse réaliser cela.

Il va donc commencer par demander le profil de l'apprenant à l'agent de modélisation des apprenants. Une fois que ce dernier lui a fourni ces informations, l'agent pédagogique initie un appel à participation (CFP : call for participants) à tous les agents pédagogiques ( $m$  agents), concernant l'enseignement de l'unité d'apprentissage lui faisant défaut.

Les agents pédagogiques qui ne sont pas déjà affectés à une autre tâche et qui peuvent effectivement fournir cet enseignement ( $n$  agents) vont transmettre à l'initiateur une proposition contenant leur profil complet (les connaissances qu'ils peuvent enseigner de même que les stratégies d'apprentissage qu'ils sont capables de mettre en œuvre).

Après un temps d'attente donné, l'agent pédagogique initiateur utilise le profil de l'apprenant obtenu précédemment pour déterminer l'agent qui semble le plus souhaitable à l'apprenant. L'agent initiateur va alors accepter la proposition de cet agent et rejeter la proposition de tous les autres ( $n-1$  agents).

L'agent gagnant entre alors en contact avec l'apprenant et applique l'enseignement après avoir mis en œuvre le protocole d'adaptation locale.

#### **4.5.4. Adaptation au niveau local**

Le protocole précédent permet de sélectionner un agent pédagogique permettant de fournir un enseignement concernant une unité d'apprentissage donnée. Une fois que cet agent est déterminé, conformément à la philosophie des STI, une adaptation de la forme de cet enseignement en fonction du profil de l'apprenant est réalisée (nous avons notamment proposé un mécanisme d'adaptation culturelle dans le chapitre précédent). La figure 22 présente la forme que prendra ce processus d'adaptation dans notre prototype multi-agents de MOCAS.

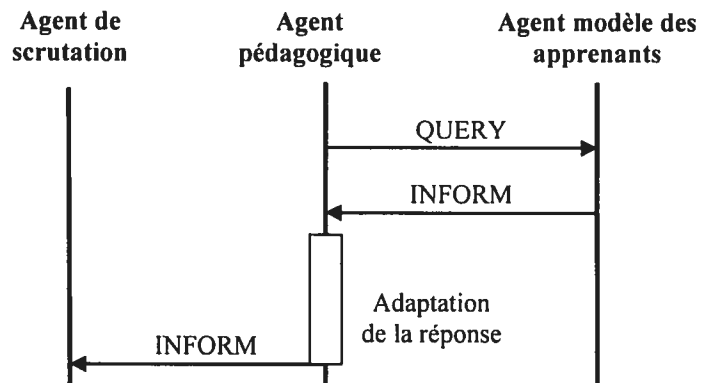


Figure 22. Protocole pour l'adaptation pédagogique locale

L'agent pédagogique en charge de l'enseignement commence par interroger l'agent de modélisation des apprenants pour obtenir le profil de son élève. Dans MOCAS, ce profil permet notamment de déterminer l'appartenance culturelle de l'apprenant aux différents groupes culturels définis. L'agent de modélisation des apprenants, qui a également accès à la structure du curriculum, va de plus transmettre les scores d'intérêt culturel (SIC) actuellement associés aux ressources permettant d'illustrer l'unité d'apprentissage (ces scores sont constamment mis à jour par l'agent de monde) ainsi que de potentielles règles culturelles utiles au calcul des SIC des différentes stratégies pédagogiques dont dispose l'agent pédagogique. Pour rappel, ces règles permettent d'obtenir un coefficient multiplicateur  $\sigma$  déterminé en fonction du profil culturel d'un apprenant (voir partie 3.3.3.).

En fonction de toutes ces données, l'agent pédagogique adapte son enseignement de l'unité d'apprentissage et transmet des directives à l'agent de scrutation qui peut alors manifester l'intelligence culturelle résultante du système. Dans une prochaine version de notre prototype, on prévoit également que cette intelligence culturelle puisse se manifester dans l'adaptation du langage corporel de l'avatar de l'agent pédagogique.

#### 4.5.5. Mise en place de stratégies générales

Ce dernier point se rapporte à la possibilité du système de générer des scénarios pédagogiques sans que cela ne provienne de l'initiative d'un apprenant. La figure 23 présente le protocole permettant la mise en place de ces stratégies dites générales.

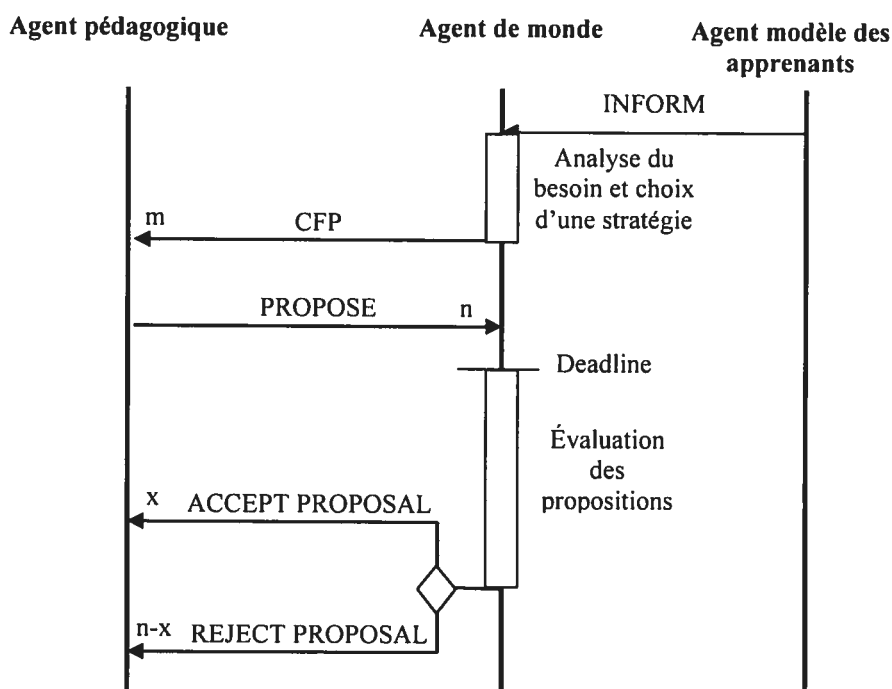


Figure 23. Protocole pour la mise en place d'une stratégie pédagogique générale

L'initiateur de la communication est l'agent de modélisation des apprenants. Celui-ci effectue en continu une surveillance sur les profils des apprenants connectés. Cette surveillance lui permet de mettre en évidence différentes configurations particulières comme la passivité d'un ou plusieurs apprenants, ou encore la présence de plusieurs apprenants ayant un attrait pour les tâches collectives (coopération ou compétition).

Si un « pattern » particulier est détecté, l'agent de modélisation des apprenants fournit une description précise de la situation à l'agent de monde (un diagnostic, les apprenants impliqués, leurs profils...). L'agent de monde va alors analyser le besoin et choisir une réponse appropriée parmi une banque de scénarios didactiques disponibles [Schank, 1977, Labat et al., 2006] qui feront appel à un ou plusieurs agents.

Dans le cas d'une simulation médicale, un exemple de scénario pourrait être l'afflux d'agents pédagogiques simulant diverses blessures. Un agent pédagogique médecin informerait alors le ou les apprenants qu'il y a eu une grave catastrophe et qu'ils doivent effectuer une procédure de triage sur les blessés qui viennent d'arriver de manière à déterminer ceux à traiter prioritairement.



Pour mettre en œuvre le scénario choisi, l'agent de monde émet un appel à participants auprès des agents pédagogiques du système ( $m$  agents). Les agents pédagogiques qui ne sont pas déjà affectés à une autre tâche et qui sont compatibles ( $n$  agents) à la demande de l'agent de monde vont lui transmettre une proposition contenant leur profil complet.

L'agent de monde se sert alors de ces réponses pour déterminer le ou les agents qui vont être assignés au scénario. Il peut également générer, de manière temporaire, de nouveaux agents pédagogiques (comme dans le cas des blessés dans notre exemple de scénario précédent).

#### **4.6. Outils auteurs pour le développement de cours avec MOCAS**

Le développement d'environnements virtuels pour l'apprentissage, inspiré des jeux vidéo, est un processus compliqué. De manière à réduire la quantité de travail nécessaire au développement de cours originaux au sein de notre prototype de MOCAS, nous développons donc en parallèle une suite d'outils auteur que nous avons regroupé au sein du système IBIS (Intuitive Builder for Intelligent Systems). Celui-ci a fait l'objet de deux publications : [Blanchard, Frasson, 2006a] et [Blanchard, Frasson, 2006c].

La population d'auteurs cibles pourrait comprendre des individus qui ont peu ou pas de connaissance en informatique (c'est encore fréquemment le cas d'enseignants de premier et second cycle), c'est pourquoi nous accordons une grande place à l'aspect intuitif de nos différents outils. Nous nous concentrons donc sur la création d'un système auteur simple et accessible, possédant sans doute moins de fonctionnalités que ses concurrents, plutôt qu'un système complet mais complexe. Cependant, il n'est pas exclu qu'une autre version de notre système propose dans le futur des niveaux de complexité paramétrables par l'auteur.

#### 4.6.1. La génération des environnements 3D

L'un des éléments principaux de notre prototype de MOCAS est son monde 3D. Une méthode de création rapide de tels environnements a donc été développée. De même que dans le monde réel, nous utilisons un mécanisme de cartographie 2D pour représenter un monde 3D. Une carte permet non seulement de décrire les spécificités de l'environnement où se déroule l'action mais elle est également utilisée pour nombre de processus liés au fonctionnement du jeu (comme par exemple la fonctionnalité de recherche de chemin dont disposeront les différents agents présents dans le monde 3D). Notre approche actuelle utilise actuellement des programmes grand public de création d'images bitmap en tant qu'éditeurs de carte. La figure 24 présente notre processus de génération de monde 3D.

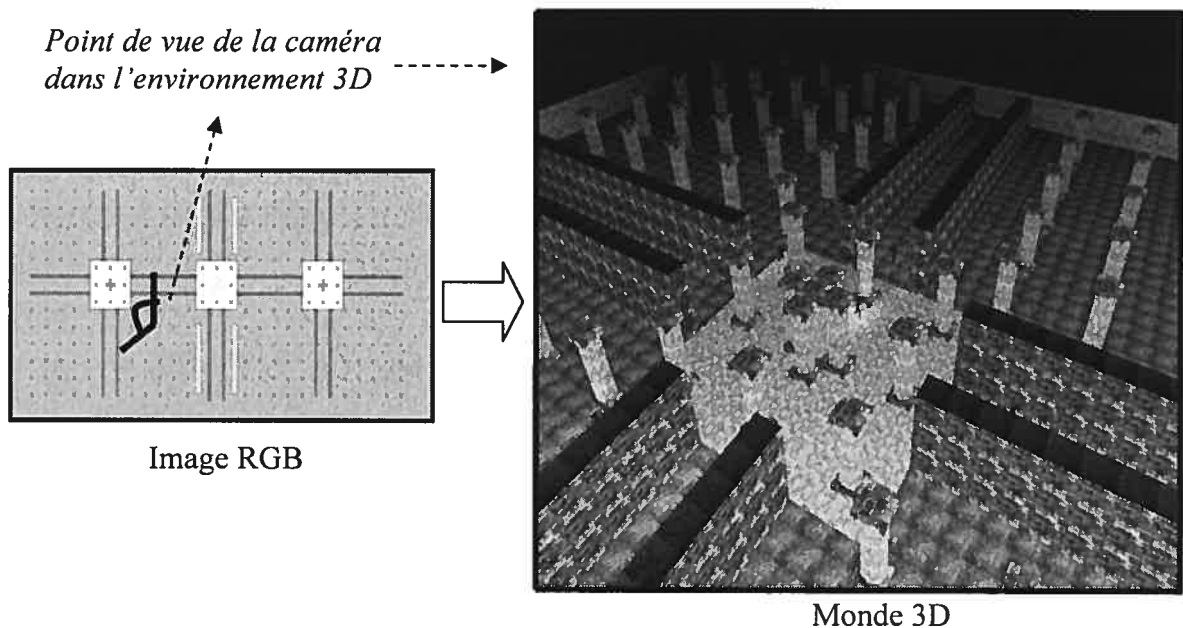


Figure 24. Méthodologie de création des mondes 3D de IBIS

Les images classiques RGB 24bits proposent seize millions de combinaisons possibles par pixel. Un certain nombre de ces combinaisons sont déterminées comme codantes. A ce moment là, lorsque notre programme lit la valeur codante d'un pixel, il peut déterminer la représentation en 3D associée au code de ce pixel ainsi que le statut « peut

être parcouru / ne peut être parcouru » de cette position dans l'environnement 3D (ce qui est par la suite utilisé par notre algorithme de recherche de chemin).

Pour résumer, une image bitmap est passée en paramètre lors de la création de l'agent de monde. Celui-ci génère alors l'environnement qui découle du traitement de l'image et transmet les informations obtenues aux agents d'interface qui disposent alors d'une représentation 3D de cet environnement.

#### **4.6.2. L'éditeur de curriculum**

Créer des environnements virtuels dans un but d'enseignement présente certaines particularités comparativement à d'autres types d'environnements virtuels. La plus grande d'entre elles concerne sans doute la représentation des connaissances du domaine.

##### **Une structure en forme de graphe multi-couches d'unités d'apprentissage**

Comme on l'a dit auparavant, l'audience visée par IBIS peut comporter des personnes ayant peu ou pas de connaissances en informatique. En prenant en compte ce point, nous avons déterminé que la méthode des graphes conceptuels était une technique acceptable pour créer nos curriculum. Les graphes conceptuels ont l'avantage d'être une technique très visuelle et assez intuitive. Ils présentent néanmoins un certain nombre limitations comparativement aux réseaux bayesiens ou aux ontologies.

Comme nous l'avons précisé, dans la première version de notre système auteur IBIS, nous cherchons avant tout la simplicité d'utilisation. Cependant, notre méthodologie de développement de IBIS étant basée sur une approche modulaire comme dans le cas de MOCAS, rien ne nous empêche d'envisager d'utiliser d'autres techniques de représentation des connaissances dans le futur.

Comparativement à des graphes plus élaborés comme les ontologies, le terme « concept » n'est pas adéquat pour notre curriculum et nous lui préférons la notion d'« unité d'apprentissage » que l'on a déjà mentionné à plusieurs reprises. Une unité d'apprentissage est une décomposition, une sous partie du cours. De manière récursive, une unité d'apprentissage peut elle-même être décomposée en différentes parties. Pour cette

raison nous désignons notre curriculum comme étant un **graphe multi-couches d'unités d'apprentissage**.

La figure 25 présente l'outil de création de curriculum que nous avons développé.

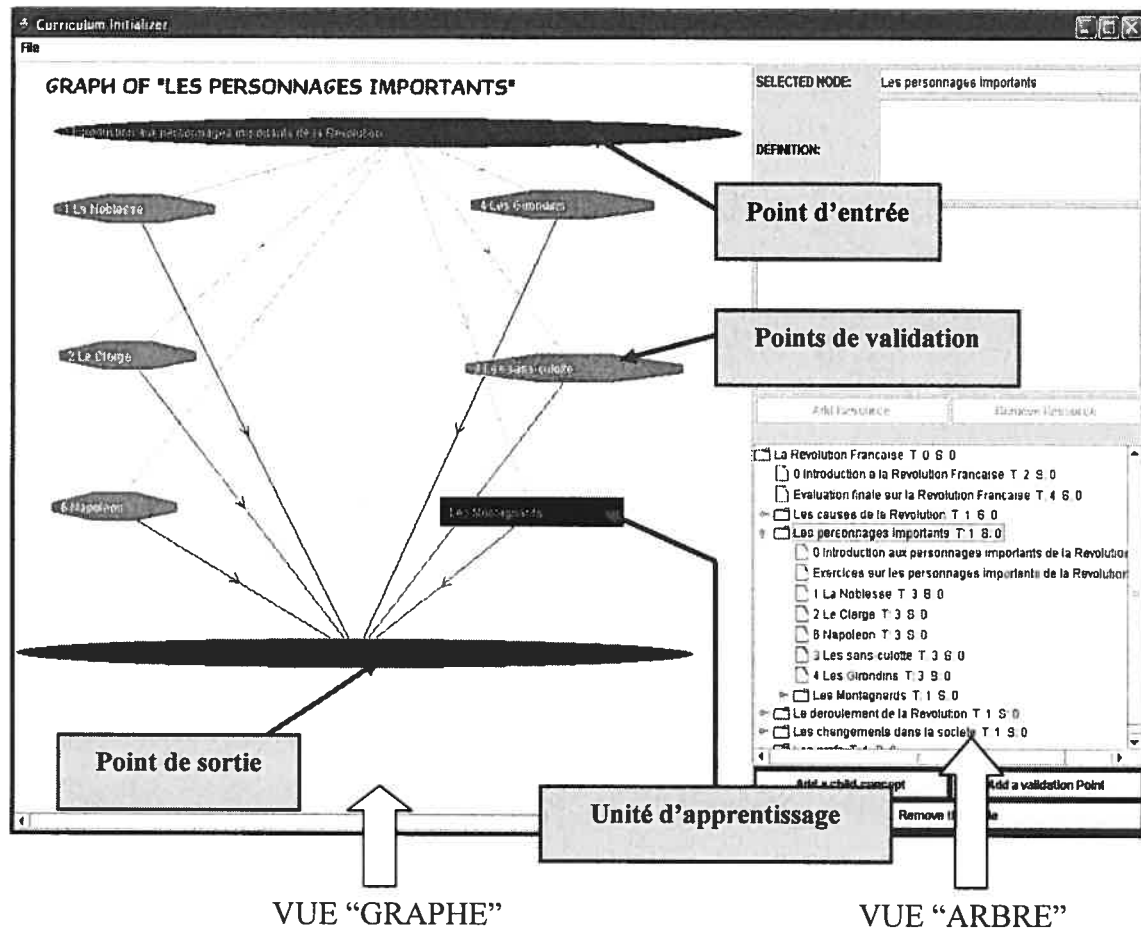


Figure 25. Vue de l'interface de création de curriculum de IBIS

### **Vue « graphe » versus vue « arbre »**

Cette interface se divise en deux vues. A gauche on distingue la vue « graphe » qui présente les liens entre les différentes sous partie d'une unité d'apprentissage (en l'occurrence, l'unité d'apprentissage concerne *les personnages importants* de la révolution française). Sur la droite, on distingue la vue « arbre » qui permet de visualiser l'ensemble des unités d'apprentissage en fonction des couches auxquelles elles appartiennent (comme on le voit sur cet exemple, dans la vue arbre, les fils de l'unité d'apprentissage *les personnages importants* correspondent au nœuds présents dans la vue graphe).

## Types des noeuds

Par ailleurs ces nœuds peuvent être de quatre types différents :

- *Points d'entrée* : c'est par eux que débute l'étude d'une unité d'apprentissage (représentés par un ovale gris foncé dans la vue « graphe » et par l'attribut *T* : 2 dans la vue « arbre »).
- *Points de sortie* : c'est par eux que se termine l'étude d'une unité d'apprentissage (représentés par un ovale rouge dans la vue « graphe » et par l'attribut *T* : 4 dans la vue « arbre »).
- *Points de validation* : ils servent à définir des étapes intermédiaires n'ayant pas à être décomposées (représentés par un hexagone vert dans la vue « graphe » et par l'attribut *T* : 3 dans la vue « arbre »).
- *Unités d'apprentissage* : ils servent à définir des étapes intermédiaires qui seront nécessairement décomposées au minimum en un point d'entrée et un point de sortie (représentés par un rectangle bleu dans la vue « graphe » et par l'attribut *T* : 1 dans la vue « arbre »). La figure 26 présente ainsi la sous-couche de l'unité d'apprentissage « *les montagnards* » qui faisait elle-même partie de la sous-couche décrivant l'unité d'apprentissage « *les personnages importants* » de la révolution française.

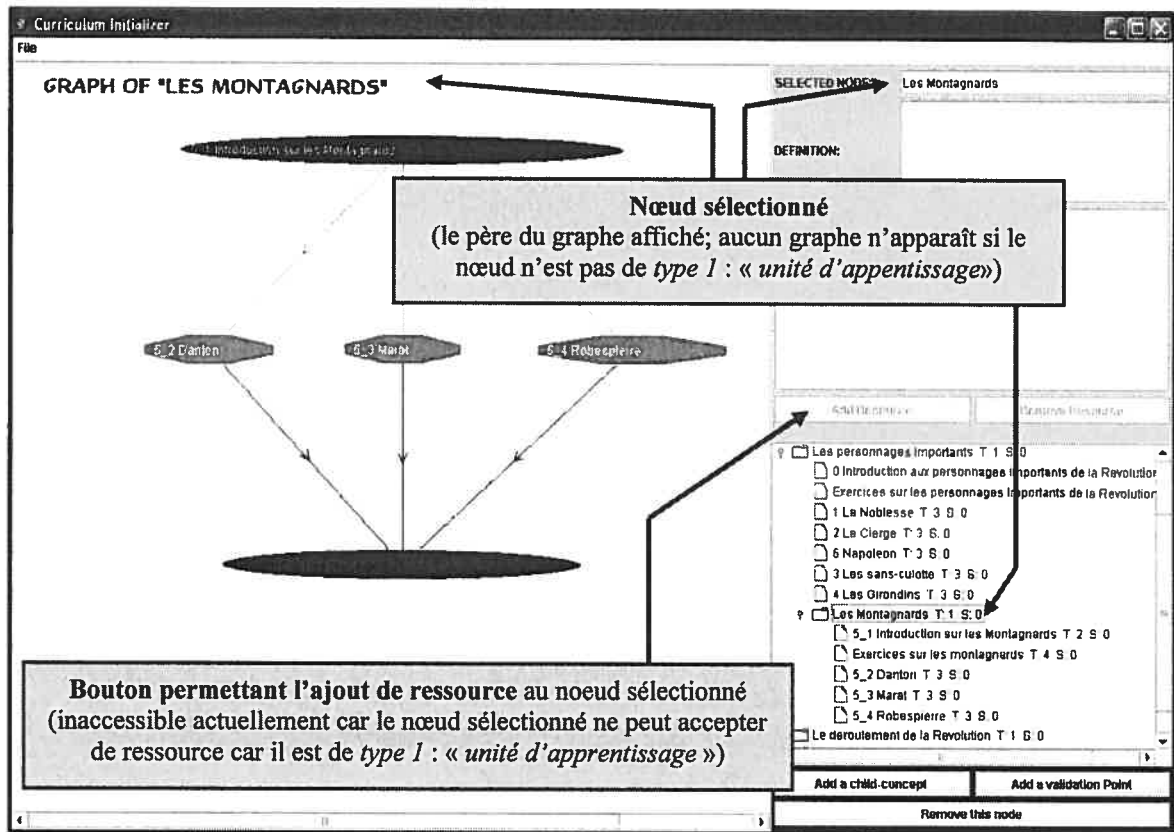


Figure 26. Vue montrant une sous-couche d'une unité d'apprentissage

### Association de ressources d'apprentissage

L'auteur peut associer des ressources aux points d'entrée, de validation et de sortie. Par contre, il ne peut pas associer de ressource à une unité d'apprentissage (ce qui explique, dans la figure 26 que le bouton « add resource » est désactivé), le nœud sélectionné (« *les montagnards* ») représentant une unité d'apprentissage. Ainsi, les ressources la décrivant se trouveront dans les points, d'entrée, de validation et de sortie composant sa sous-couche. Il n'est cependant pas obligatoire que tous les points disposent de ressources associées (même si cela est préférable).

### Attributs des nœuds : type et statut

On remarque, dans la vue « arbre » des figures 25 et 26, qu'un attribut T est associé au nom d'un nœud. Comme on l'a vu, la valeur de cet attribut renseigne sur le type du nœud. Un autre attribut nommé S concerne le statut du nœud. Ce statut signifie la

connaissance qu'à l'apprenant de ce nœud, 0 signifiant que le nœud est non connu, 1 signifiant qu'il est connu, 2 qu'il a été visité mais que le système attend une validation de cette connaissance (par l'entremise d'un exercice par exemple). Bien entendu, au moment de la création d'un curriculum, tous les nœuds ont un attribut S initialisé à 0.

Il est également possible d'associer d'autres valeurs à des états de connaissances particuliers, selon la capacité d'analyse qu'on aura introduit dans le système. Par exemple, on pourrait associer une valeur spécifique pour signifier que la compréhension d'un nœud par l'apprenant est jugée erronée par le système, donc que la notion est à revoir.

### **Liens et parcours pour l'étude d'une unité d'apprentissage**

Le parcours du graphe représentant une unité d'apprentissage se fait au moyen de deux types de liens connectant les différents nœuds :

- *Un lien direct* (flèche verte ou plus claire) allant d'un nœud A à un nœud B signifie que le nœud B peut être étudié dès que l'étude du nœud A est complétée (sans autre pré requis).
- *Un lien secondaire* (flèche bleu ou plus foncée) reliant un nœud C à un nœud D, a une toute autre signification. Même si l'étude du nœud C est complétée, on devra s'assurer que l'étude des concepts de tous les autres nœuds aboutissant au nœud D par l'intermédiaire de liens secondaires aura été complétée avant d'entreprendre l'étude de D.

Ainsi, dans la figure 26, on remarque qu'après avoir étudié le nœud d'entrée, on peut accéder directement à n'importe lequel des trois nœuds de type « point de validation » fournissant de l'information sur *Danton*, *Marat* et *Robespierre*, trois personnages célèbres de la révolution française, membres du groupes politique des montagnards (leur nœud père).

Le point de sortie dans la figure 25 ne sera lui aussi accessible qu'en dernière position dans le parcours. La figure 27 présente ainsi un ordre de parcours possible de la partie du curriculum présenté dans les figures 25 et 26. Les seules certitudes dans cet ordre

de parcours sont que l'étude de l'unité d'apprentissage commencera par son point d'entrée. On pourra alors étudier les nœuds intermédiaires dans l'ordre que l'on désire car, dans les figures 25 et 26, les nœuds intermédiaires sont tous reliés au point d'entrée par des liens directs.

Il sera en outre nécessaire d'étudier tous les nœuds intermédiaires avant de pouvoir accéder au point de sortie, ceux-ci étant tous des prérequis du nœud de sortie comme l'indiquent l'utilisation de liens secondaires.

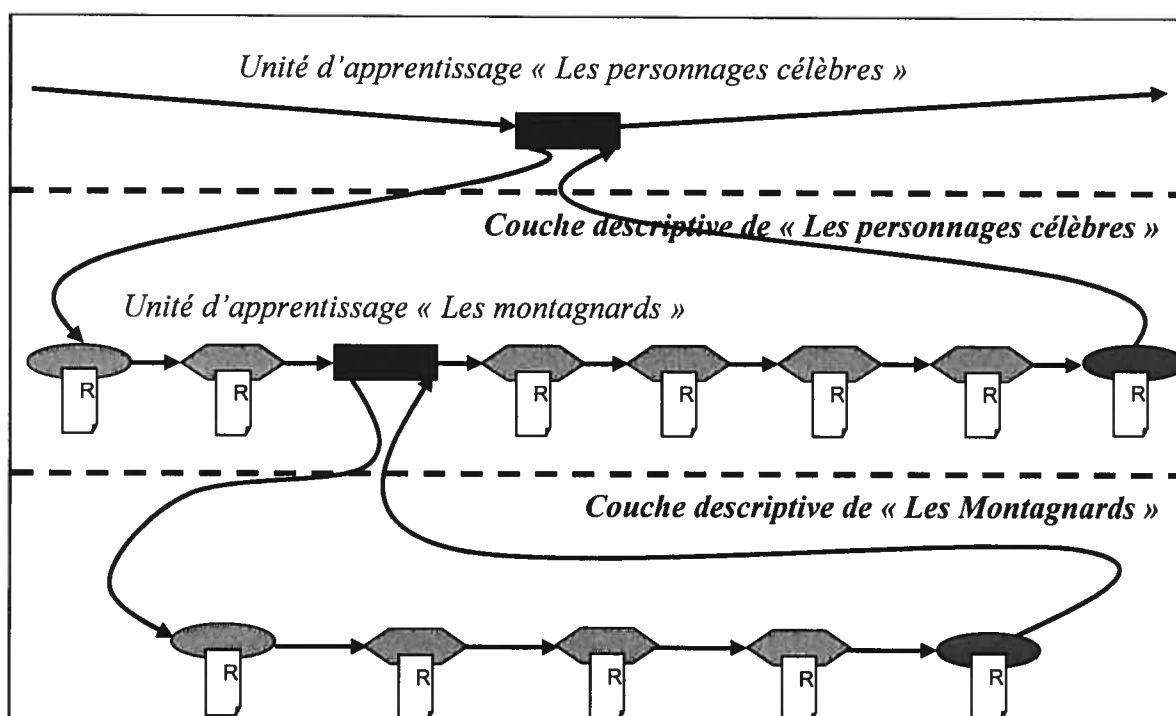


Figure 27. Cheminement d'apprentissage dans le graphe multi-couches du curriculum

Une fois le processus de création terminé, l'éditeur peut générer un fichier XML qui décrit la structure de notre curriculum. Cette structure contenant les différentes unités d'apprentissage, leurs ressources associées ainsi que les liens les unissant, est utilisée par l'agent de monde, l'agent de modélisation des apprenants et les agents pédagogiques pour remplir les fonctions de planification et d'adaptation des sessions de cours de notre STI, conformément à ce que l'on a décrit auparavant. La figure 28 présente une partie du fichier XML obtenue suite à l'utilisation de notre éditeur (cet extrait décrit en partie l'unité d'apprentissage « les personnages importants » vue dans la figure 25).



```

- <CONCEPT name="0 Introduction aux personnages importants de la Révolution" resourceId="1" status="0" type="2" xPos="37" yPos="53">
  - <RESOURCE_LIST>
    <resource id="1" path="revlmedfrancast0C Introduction aux personnages importants de la Révolution\ents\PersonnageImportant.html" status="0" type="html"/>
  - <RESOURCE_LIST>
  - <LINK_LIST>
    <directly_reachable_concept name="1 La Noblesse"/>
    <directly_reachable_concept name="2 Le Clergé"/>
    <directly_reachable_concept name="3 Les sans-culottes"/>
    <directly_reachable_concept name="4 Les Girondins"/>
    <directly_reachable_concept name="Les Montagnards"/>
  - <LINK_LIST>
  - </CONCEPT>
- <CONCEPT name="Exercices sur les personnages importants de la Révolution" resourceId="1" status="0" type="4" xPos="0" yPos="559">
  - <RESOURCE_LIST>
    <resource id="1" path="revlmedfrancast0C Exercices sur les personnages importants de la Révolution\exercice\personnages type 2" status="0" type="html"/>
  - <RESOURCE_LIST>
  - <LINK_LIST>
    <needed_concept name="1 La Noblesse"/>
    <needed_concept name="2 Le Clergé"/>
    <needed_concept name="3 Les sans-culottes"/>
    <needed_concept name="4 Les Girondins"/>
    <needed_concept name="Les Montagnards"/>
  - <LINK_LIST>
  - </CONCEPT>
- <CONCEPT name="1 La Noblesse" resourceId="1" status="0" type="2" xPos="0" yPos="133">
  - <RESOURCE_LIST>
    <resource id="1" path="revlmedfrancast0C La Noblesse\noblesse.html" status="0" type="html"/>
  - <RESOURCE_LIST>
  - <LINK_LIST>
    <reachable_concept name="Exercices sur les personnages importants de la Révolution"/>
    <directly_needed_concept name="0 Introduction aux personnages importants de la Révolution"/>
  - <LINK_LIST>
  - </CONCEPT>

```

Figure 28. Extrait d'un fichier XML obtenu par l'utilisation de l'éditeur de curriculum

### 4.6.3. L'initialiseur d'agents pédagogiques

L'autre élément essentiel à la création de cours pour MOCAS concerne la définition des agents pédagogiques qui vont peupler notre environnement 3D. La figure 29 présente l'outil que nous avons développé pour répondre à ce besoin ainsi qu'un extrait de fichier XML qui résulte de son utilisation.

Dans le haut de l'interface, on trouve la liste des intitulés des définitions d'agents déjà réalisées. À côté du nom de l'agent créé figure le nom du modèle 3D ainsi que la texture qui sera appliquée sur celui de façon à obtenir l'avatar de l'agent dans le monde 3D.

En bas sur la gauche, on retrouve la vue « arbre » du curriculum dont nous avons discuté dans la partie précédente. L'auteur peut y sélectionner des nœuds (qui peuvent donc être de type point d'entrée, de sortie, de validation ou unité d'apprentissage) et les associer à la définition de l'agent en cours de création. Le nom des nœuds sélectionnés figurera alors dans une liste en bas à droite de l'interface. Ce sont ces nœuds du curriculum qui pourront être enseignés par l'agent. Comme on l'avait indiqué plus tôt, les agents pédagogiques dans notre prototype de MOCAS se voient attribués des rôles différents, ce



Le dernier aspect de la suite IBIS concerne la conception d'exercices permettant de valider la connaissance des apprenants. A cette fin, nous avons développé un éditeur simple d'exercice dont l'interface est présentée dans la figure 30. Il permet la création facile et rapide d'exercices de type « question à choix multiple ». L'auteur peut ainsi écrire une question et lui adjoindre autant de réponse qu'il le désire tout en signifiant à chaque fois si la réponse fournie est bonne ou non. Le fichier XML que l'on obtient peut alors être sauvegardé et inséré comme n'importe quelle autre ressource avec l'éditeur de curriculum. Il est à noter que nous avons développé de concert un module de visualisation pour ce type de ressource exercice (ce module a été présenté dans la figure 17). Dans notre prototype, on pourrait de la même manière développer des modules pour prendre en compte des exercices ayant d'autres format (tel que LMS Lite par exemple).

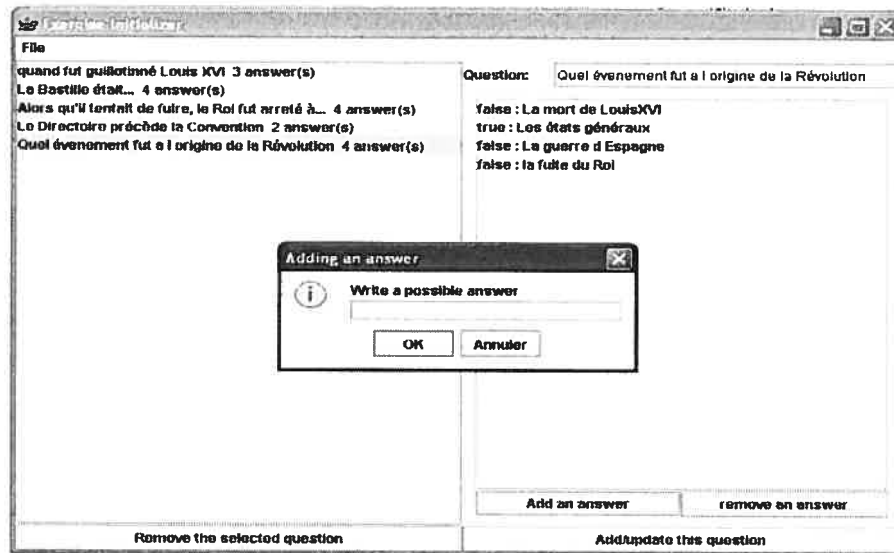


Figure 30. Interface de l'éditeur d'exercices

## 4.7. Conclusion

Dans cette partie, nous avons mis en avant l'intérêt d'utiliser une approche multi-agents pour aboutir à l'implémentation concrète d'un MOCAS.

Nous avons également présenté quatre spécifications que nous avons suivies durant le développement d'un prototype de MOCAS. Par la suite nous avons présenté notre prototype multi-agents de MOCAS. Ce prototype s'articule autour d'un monde virtuel 3D dans lequel évoluent des avatars d'agents pédagogiques de même que ceux des apprenants.

Des protocoles de communication ont été proposés de manière à assurer les diverses fonctionnalités prévues dans les architectures modulaires que nous avons présentées au chapitre précédent et qui considéraient la prise en compte de la motivation et de la culture.

Des outils auteurs ont été développés conjointement à notre prototype. Ils facilitent notamment la création des mondes 3D, la structuration des connaissances et l'affectation de celles-ci aux différents agents pédagogiques définis. On espère dans le futur, compléter cette gamme d'outils par l'ajout d'un logiciel permettant de définir des scénarios didactiques multi-agents, d'un autre aidant à spécifier les aptitudes donc chaque agent pourra se prévaloir localement (les attitudes locales qu'ils pourront utiliser durant leur

interaction avec l'apprenant) et également un outil pour faciliter la création de stratégies pédagogiques et l'ajout de règles culturelles.

Nous avons effectué plusieurs évaluations avec ce prototype et la partie suivante vise à présenter nos résultats.

## Chapitre 5. Évaluations

Jusqu'à présent, nous n'avons pas couvert l'aspect culturel de MOCAS dans le prototype que nous avons développé. Le développement d'un système culturellement conscient s'inspirant des différents éléments que nous avons détaillés précédemment fait l'objet d'un sujet de maîtrise à part entière [Razaki, 2007]. L'implémentation du protocole d'adaptation culturelle dans notre prototype multi-agents est cependant en cours.

Dans la présente section, nous décrivons deux études que nous avons menées sur l'aspect motivationnel de notre prototype. Notre première expérience étudie l'effet de l'utilisation de MOCAS sur la motivation d'élèves à suivre une activité d'apprentissage. Rappelons que nous avons conçu ce prototype principalement dans le but qu'il encourage la prise de décision et le sentiment de liberté des apprenants (comme stipulé dans la première de nos recommandations, partie 3.3.1.).

Dans notre deuxième évaluation, nous avons mené une série d'expériences avec des capteurs physiologiques susceptibles de mesurer l'état affectif d'un apprenant, et plus particulièrement son état motivationnel. L'utilisation de telles mesures présente l'avantage de ne pas altérer la dynamique d'une session d'apprentissage : interrompre fréquemment un enseignement peut en effet être très néfaste pour l'intérêt envers la tâche d'apprentissage [Csiksentmihalyi & Csiksentmihalyi, 1988].

### 5.1. Évaluation motivationnelle du prototype de MOCAS

#### 5.1.1. Hypothèse

L'objectif de cette première évaluation est de valider notre hypothèse selon laquelle la conception de MOCAS, et plus particulièrement l'attention mise à encourager la liberté et la prise de décision de l'apprenant (soutien du besoin d'autonomie), a un impact positif sur la qualité de la motivation des apprenants, c'est-à-dire leur niveau d'engagement et de persistance dans une activité d'apprentissage. ). On a ainsi évalué l'impact motivationnel de

notre prototype de MOCAS en utilisant *l'échelle de motivation situationnelle* [Guay et al., 2000]. Les résultats suivants sont par ailleurs présentés dans [Blanchard, Frasson, 2007b].

Dans cette étude, nous n'avons pas cherché à évaluer les améliorations académiques potentielles des apprenants. Comme expliqué par Reeve et ses collègues [Reeve et al., 2004], les résultats académiques s'améliorent dès lors que les comportements des apprenants sont régulés de bonne manière, c'est-à-dire par l'intermédiaire de motivation intrinsèque ou de régulation identifiée. On peut rapprocher cela du fait que les individus ainsi motivés persisteront plus longtemps dans l'activité d'apprentissage.

Cependant, en développant un système de e-Learning motivationnel, on doit considérer le fait que le système développé, s'il peut motiver l'apprenant à l'utiliser, doit également avoir la capacité de transmettre efficacement l'information liée à l'apprentissage. Pearce explique ainsi que les aspects multimédia d'un système d'enseignement créent une couche entre des apprenants et leur apprentissage. Il est du devoir du concepteur de l'activité d'apprentissage de rendre cette couche transparente, c'est-à-dire que les éléments interactifs ne monopolisent pas l'attention d'un apprenant. De cette manière la concentration de celui-ci pourra se porter sur l'apprentissage en soi [Pearce, 2005].

La capacité des apprenants à se concentrer pour une tâche d'apprentissage durant l'utilisation de notre prototype de MOCAS est notamment abordée dans la deuxième étude que nous allons présenter par la suite.

### **5.1.2. Description du « Situational Motivation Scale »**

Pour évaluer la motivation d'un groupe d'élèves, nous avons transcrit en français l'échelle de motivation situationnelle (the *Situational Motivation Scale* : SIMS) créée et validée par Guay et ses collègues [Guay et al., 2000]. La figure 31 présente la SIMS.

**Lisez chaque affirmation avec attention. Puis, en utilisant l'échelle suivante, entourez le nombre qui décrit le mieux à quel point vous êtes en accord avec chaque affirmation.**

**Échelle :**

1 : ne me correspond pas du tout    2 : correspond très peu    3 : correspond un peu  
4 : correspond modérément    5 : correspond assez    6 : correspond beaucoup  
7 : correspond exactement

1	Je trouve que cette activité est intéressante.	1 2 3 4 5 6 7
2	Je fais cette activité pour mon bien.	1 2 3 4 5 6 7
3	Je fais cette activité parce que je suis supposé la faire.	1 2 3 4 5 6 7
4	Il doit y avoir une bonne raison pour que je fasse cette activité mais je ne la vois pas.	1 2 3 4 5 6 7
5	Je trouve cette activité plaisante.	1 2 3 4 5 6 7
6	Je pense que cette activité est une bonne chose pour moi.	1 2 3 4 5 6 7
7	Je fais cette activité parce que c'est quelque chose que je dois faire.	1 2 3 4 5 6 7
8	Je fais cette activité mais je ne suis pas sur que ça en vaille la peine.	1 2 3 4 5 6 7
9	Je trouve que cette activité est fun/cool.	1 2 3 4 5 6 7
10	C'est ma décision personnelle de faire cette activité.	1 2 3 4 5 6 7
11	Je fais cette activité parce que je n'ai pas le choix	1 2 3 4 5 6 7
12	Je ne sais pas. Je ne vois pas ce que cette activité m'apporte	1 2 3 4 5 6 7
13	Je me sens bien quand je fais cette activité	
14	Je fais cette activité parce que je pense que cette activité est importante pour moi.	1 2 3 4 5 6 7
15	Je fais cette activité parce que j'ai le sentiment que je dois la faire.	1 2 3 4 5 6 7
16	Je fais cette activité mais je ne suis pas sur que ce soit une bonne chose de la continuer.	1 2 3 4 5 6 7

Figure 31. La Situational Motivation Scale

L'objectif de la SIMS est de déterminer quel type de motivation régle les comportements d'un individu durant une activité. Comme on le voit, il s'agit d'un questionnaire composé de 16 affirmations. En utilisant une échelle donnée, l'individu évalué dit à quel point il est en accord avec chacune de ces seize affirmations.

Dans ce questionnaire :

- les items 1, 5, 9 et 13 se rapportent à la motivation intrinsèque (meilleur type de motivation),

- les items 2, 6, 10 et 14 se rapportent à la régulation identifiée (bon type de motivation),
- les items 3, 7, 11 et 15 se rapportent à la régulation externe (mauvais type de motivation),
- les items 4, 8, 12 et 16 se rapportent à l'amotivation (aucune motivation pour l'activité).

Par ailleurs, des corrélations significatives ont été mises en évidence entre les items illustrant, dans l'échelle SIMS, les différents types de régulation du comportement et les sentiments de compétence, d'autonomie, l'intérêt pour la tâche et le niveau des émotions positives [Guay et al., 2000]. Le tableau 2 présente ces différentes corrélations.

Tableau 2. Corrélations entre les éléments de l'échelle SIMS, la satisfaction des besoins fondamentaux et des conséquences de la motivation

	Déterminants		Conséquences	
	Compétence ressentie	Autonomie ressentie	Émotions positives	Intérêt de la tâche
<b>Motivation intrinsèque</b>	.41*	.46*	.61*	.80*
<b>Régulation identifiée</b>	.33*	.58*	.37*	.40*
<b>Régulation externe</b>	-.23*	-.54*	-.23*	-.33*
<b>Amotivation</b>	-.37*	-.37*	-.23*	-.37*

\*  $p < .01$  (cette notation statistique signifie que la probabilité que ces corrélations soient le fruit du hasard est inférieure à 1%)

On remarque que les items reliés à la motivation intrinsèque et à la régulation identifiée sont positivement reliés à tous les éléments cités auparavant alors que les affirmations illustrant la régulation externe et l'amotivation y sont négativement reliés. En d'autres termes, quand les items mettant en évidence la motivation intrinsèque ou la régulation identifiée présentent un fort résultat, cela s'explique notamment par le fait de ressentir de la compétence et de l'autonomie et s'illustre par des émotions positives et un



fort intérêt pour la tâche. Par contre, un fort résultat sur les items reliés à la régulation externe et à l'amotivation s'explique par une sensation de manque de compétence et d'autonomie. Les émotions positives sont peu exprimées et l'intérêt pour la tâche est moindre.

### 5.1.3. Description de l'échantillon et méthodologie

#### Description de l'échantillon

Cette évaluation a eu lieu au mois de septembre 2006, au début de l'année scolaire française. Nous avons développé un cours sur la révolution française dans MOCAS et l'avons présenté à 32 élèves de 10 ans d'âge moyen (écart type = 0.45). Le tableau 3 présente le profil du groupe de 32 élèves interrogés dans cette étude.

La différence la plus significative se situe au niveau de l'utilisation de jeux vidéo. 12 des 15 garçons (80% des garçons) reconnaissent y jouer régulièrement mais seules 5 des 17 filles (29.4% des filles) sont dans le même cas.

Tableau 3. Profil du groupe d'élèves interrogés dans l'étude 1.

Garçons		Filles	
15 (47%)		17 (53%)	
Vous disposez d'un ordinateur à la maison			
<i>oui</i>	<i>non</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>
14 (44%)	1 (3%)	16 (50%)	1(3%)
Vous avez accès à internet à la maison			
<i>oui</i>	<i>non</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>
13 (41%)	2 (6%)	11 (34%)	6 (19%)
Vous jouez régulièrement à des jeux vidéo			
<i>oui</i>	<i>non</i>	<i>oui</i>	<i>non</i>
12 (38%)	3 (9%)	5 (16%)	12 (37%)

La figure 32 présente des élèves en pleine session d'apprentissage avec notre prototype MOCAS.



Figure 32. Élèves utilisant MOCAS dans le cadre d'un cours d'histoire.

### **Protocole expérimental**

Durant une phase de pré test, les élèves ont à compléter le SIMS en pensant à la phrase suivante :

*En général, quand je suis un cours d'histoire...*

On cherche ainsi à obtenir la motivation habituelle pour un cours d'histoire. Il est précisé oralement aux élèves qu'il n'y a ni bonne ni mauvaise réponse.

Après avoir répondu au pré test, les élèves passent à la salle d'ordinateurs de l'école, par groupe de quatre, de manière à suivre un cours d'histoire par l'intermédiaire de MOCAS. La durée moyenne d'une session est d'environ 25 minutes. Comme on l'a dit, le

cours porte sur la révolution française, domaine qui figure dans le programme des élèves pour cette période de l'année.

Pour développer les ressources d'apprentissages qui ont servi dans MOCAS (pages HTML et questionnaires), nous nous sommes inspiré des livres que l'enseignant utilise pour la préparation de ses cours.

Après la session d'utilisation de MOCAS, chaque élève doit compléter un post test. Ils doivent de nouveau répondre au SIMS mais, cette fois ci, en s'inspirant de la phrase :

*Si je devais utiliser un tel système dans un cours d'histoire...*

Dans le post test, des questions supplémentaires visant surtout à confirmer le soutien à l'autonomie ressenti par les élèves sont également posées dans le but d'expliquer nos résultats.

#### **5.1.4. Résultats**

La figure 33 compare les valeurs moyennes obtenues au moment du pré test et du post test pour chacune des seize affirmations de la SIMS. L'écart type est également indiqué.

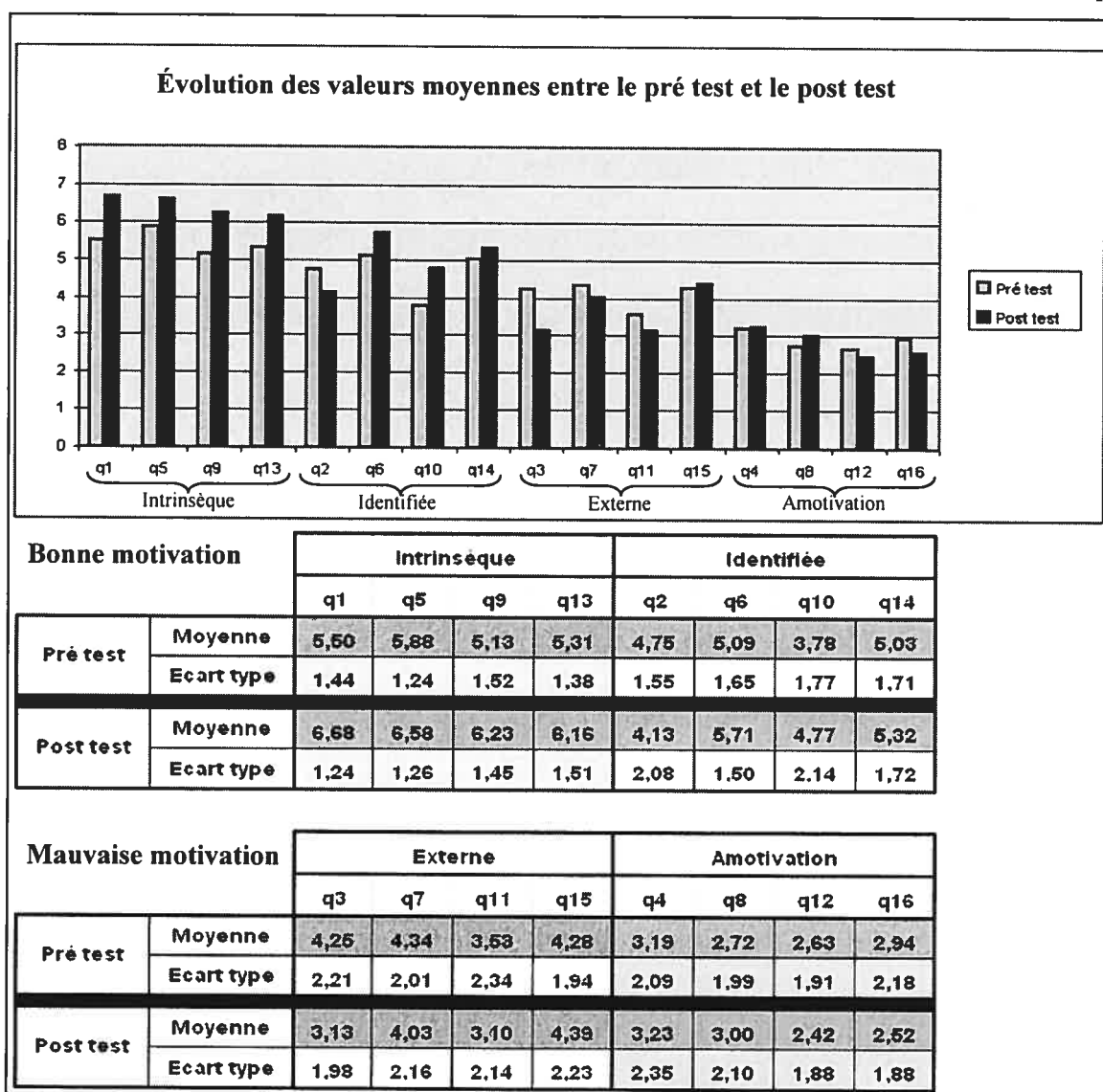


Figure 33. Résultats au SIMS dans les pré tests et post tests.

De manière à faciliter la lecture des résultats, nous avons regroupé les affirmations quatre par quatre en fonction du type de motivation auquel elles font référence (régulations intrinsèque et identifiée : bons types de motivation; régulations externe et amotivation : mauvais types de motivation). Un histogramme reprenant ces données est également indiqué en haut de la figure 33 pour illustrer l'évolution de ces valeurs moyennes entre le pré test et le post test.

### Résultats au pré test

Les résultats au pré test montrent que, par défaut, la motivation pour un cours d'histoire est bonne au sein du groupe d'élèves : les affirmations reliées à la motivation positive (motivation intrinsèque et régulation identifiée) sont toutes fortement évaluées (à l'exception de l'affirmation 10). Les moyennes des affirmations liées à la régulation externe sont en moyenne relativement moins élevées. Les scores moyens des affirmations liées à l'amotivation sont faibles.

### Résultats au post test

Les valeurs moyennes de 7 des 8 affirmations liées à la motivation positive ont augmenté par rapport au pré test. Cette augmentation est particulièrement marquée au niveau de la motivation intrinsèque. L'affirmation 2 est la seule liée à la motivation positive qui ait régressée. Dans ce cas-ci, nous pensons que cela pourrait être dû à une mauvaise interprétation de cette affirmation par les élèves : un certain nombre de discussions que nous avons eu par la suite avec les élèves nous amènent à penser que ceux-ci n'ont pas forcément bien compris cette affirmation. Par ailleurs, les scores des affirmations liées à la régulation externe ont tendance à légèrement diminuer. Les scores des affirmations liées à une absence de motivation sont, d'une manière générale, demeurés relativement stables à un faible niveau.

De manière à analyser plus en détail ces résultats, nous nous sommes intéressés à l'évolution « pré test/ post test » de chacun des items répondus en fonction du type de motivation qu'il caractérisait. Comme on l'a vu, un élève répond à 4 items pour chaque type de motivation, ce qui fait qu'avec nos 32 élèves, nous obtenons 128 items par type de motivation. La figure 34 présente, pour chaque type de motivation, la répartition des 128 items qui y sont associés en fonction de leur évolution entre le pré test et le post test (augmentation, stagnation ou diminution).

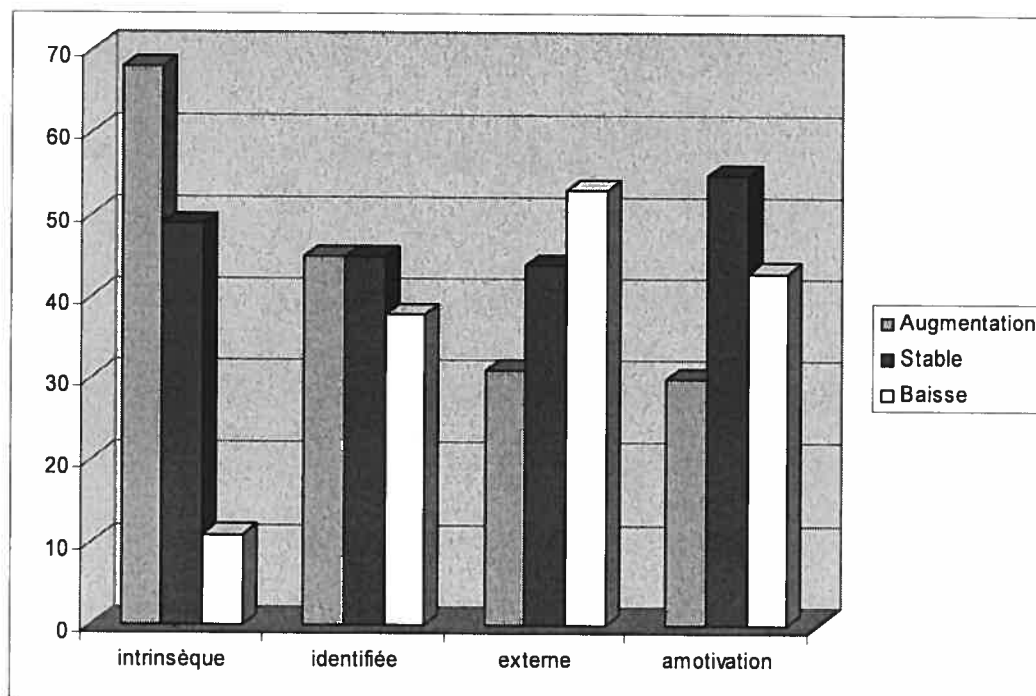


Figure 34. Évolution des items en fonction du type de motivation

La figure 34 met en évidence le fait que beaucoup des affirmations liés à la motivation intrinsèque ont augmenté entre le pré test ou le post test. Beaucoup sont également restés stables à un haut niveau et très peu d'items ont baissé. L'amélioration de la motivation intrinsèque est donc bien un phénomène généralisé et non limité à une petite fraction d'individus.

Au niveau de la régulation identifiée, même s'ils sont satisfaisants, les résultats sont moins flagrants. Comme on l'a dit auparavant, nous pensons que l'affirmation 2 aurait été mal comprise. Or elle influence fortement sur les résultats (18 élèves sur 32 ont baissé leur score à l'affirmation 2). Si on ne considérait pas cette question, les proportions des items des trois autres affirmations apparaîtraient plus en accord avec nos hypothèses (41% d'augmentation, 38% de stagnation et 21% de baisse sur les 96 items restant).

On observe également que les items relatifs à la régulation externe (mauvaise motivation) tendent principalement à diminuer ou à demeurer stable à un niveau moyen à faible, ce qui montre que les élèves verraient moins comme une contrainte le fait de suivre un cours d'histoire dans le futur en utilisant MOCAS comparativement à suivre un cours d'histoire d'une manière plus classique.

Enfin les items liés à l'amotivation sont principalement restés stables à un faible niveau.

### **Comparaison en fonction du sexe**

Nous avons également étudié séparément les résultats des garçons et des filles. Nous avons noté que la motivation initiale (au moment du pré test) était d'un peu moins bonne qualité chez les filles par rapport à celle des garçons (moyennes de la motivation intrinsèque généralement moins élevées et celles de la régulation externe légèrement plus élevées).

Cependant, suite à l'utilisation de notre prototype de MOCAS, un effet positif sur la motivation intrinsèque et la motivation identifiée a été mis en évidence quel que soit le sexe et ce, malgré le fait que les filles semblaient de prime abord moins intéressées par les jeux vidéo (voir tableau 3). La baisse du sentiment de régulation externe de l'activité est par ailleurs sensiblement plus marquée chez les filles de notre groupe que chez les garçons.

## **5.1.5. Discussions**

### **Validité de la méthodologie**

Nous avons choisi d'effectuer notre évaluation sur une classe dans son ensemble. Aucune présélection n'a été menée. Ainsi nous estimons que des élèves de tout niveau ont participé à cette étude. Dans des recherches complémentaires, il serait intéressant de voir si le niveau général des élèves influent sur leur appréciation de notre prototype.

Un cas extrême a été repéré. Il s'agit d'un garçon qui donnait des réponses très contradictoires. Nous avons cependant décidé de prendre en compte ses réponses. Comme nous l'avons dit auparavant, il est également probable que l'affirmation 2 ait été mal comprise. Comme nous l'avons déjà dit, si nous ne considérons pas cette question, nos résultats concernant la régulation identifiée serait encore plus proches de nos hypothèses (voir partie 5.1.4.).

Par ailleurs, nous pensons que d'autres configurations de test (pays, accès à l'informatique, etc) risquent de faire apparaître des variations dans les résultats sans pour autant que l'aspect motivationnel de notre prototype soit remis en cause.

### **Relations entre nos résultats et les sentiments d'encouragement de la compétence et de l'autonomie**

Les résultats précédents confirment que l'utilisation de notre prototype de MOCAS pour un cours d'histoire améliore la qualité de la motivation à s'engager dans cette activité car cela augmente la qualité de la motivation comme nous l'espérions, c'est-à-dire que les comportements des apprenants sont régulés de manière intrinsèque ou identifiée. De plus, l'utilisation de notre système semble avoir un léger effet réducteur sur la motivation négative (le fait de se sentir contraint de suivre le cours ou totalement désintéressé par celui-ci). Cependant, des tests supplémentaires sur un plus grand nombre d'individus seraient souhaitables.

Si on se réfère aux corrélations mises en évidence entre les items de la SIMS et certains des besoins fondamentaux et des conséquences de la motivation (tableau 2, partie 5.1.2.), on peut ainsi en déduire que notre prototype de MOCAS affecte positivement les sentiments de compétence et d'autonomie des apprenants. L'effort de conception visant à développer un prototype de système soutenant le besoin d'autonomie par l'encouragement de la liberté des apprenants (recommandation 1) a donc porté ses fruits.

Nous avons d'ailleurs posé trois questions supplémentaires aux apprenants pour nous assurer qu'ils avaient effectivement ressenti de l'autonomie durant leur utilisation de notre prototype (c'est-à-dire qu'ils s'étaient sentis libre et responsables durant l'activité d'apprentissage).

Le tableau 4 présente les résultats aux trois questions visant à mettre en évidence que l'autonomie ressentie était au moins en partie responsable de l'effet motivationnel observé.



Tableau 4. Résultats obtenus aux trois questions supplémentaires de l'étude 1.

Q1: Vous avez plus envie d'apprendre quand vous utilisez un tel système que dans un cours classique		
Oui	Non	Cela m'est égal
72%	9%	19%
Q2: Durant l'activité, vous pensiez que...		
Vous preniez les décisions	Le système prenait les décisions	
78%	22%	
Q3: Vous ressentez plus de liberté quand vous utilisez un tel système que dans un cours classique		
Oui	Non	Je ne sais pas
84%	6%	10%

Les réponses à la question 1 confirment l'aspect motivationnel de MOCAS que nous avons déjà déduit de l'étude des résultats du SIMS. Cet aspect motivationnel peut être dû à différents facteurs (tels que l'originalité de l'activité par exemple). Nous voulions confirmer que le sentiment d'autonomie produit par MOCAS était l'un de ces facteurs même si le SIMS établit une corrélation claire entre des résultats élevés aux items reliés à la motivation intrinsèque et à la régulation identifiée et la satisfaction des sentiments d'autonomie et de compétence.

Les réponses aux questions 2 et 3 confirment la sensation de support à l'autonomie que les élèves ont ressenti en utilisant MOCAS (sentiment d'être à l'origine des décisions et d'avoir une grande liberté). De plus, 92% des élèves qui avaient répondu oui à la troisième question nous ont confirmé par la suite qu'ils avaient effectivement apprécié avoir autant de liberté pendant l'activité.

### **Remarques complémentaires**

Lors de la découverte de MOCAS, beaucoup d'élèves ont prononcé des commentaires positifs (« cool »). Certains ont même été jusqu'à demander à l'issue de la session si le système pouvait être acheté dans le commerce ou téléchargée alors que la version qui leur a été présentée n'est qu'un prototype.

Un bon nombre d'élèves se sont d'ailleurs remis spontanément à utiliser le système, après avoir complété le post test et en attendant de devoir retourner en classe. Nous rapprochons ces comportements de la méthode d'évaluation de motivation par libre choix dont nous avons discuté dans l'état de l'art. Celle-ci relie ce genre de comportement à une forte motivation pour l'activité.

## **5.2. Évaluer la motivation par l'entremise de capteurs physiologiques : une analyse exploratoire**

### **5.2.1. Hypothèses**

Notre précédente évaluation montre que le prototype que nous avons développé affecte positivement la motivation d'enfants de 10 à 11 ans pour un cours d'histoire, notamment du fait de sa conception encourageant l'autonomie de ses utilisateurs.

Nous avons effectué une deuxième étude dont les résultats sont présentés dans [Blanchard et al., 2007] et [Chalfoun et al., 2007]. Les hypothèses que nous désirons alors vérifier sont les suivantes :

- Nous voulons tout d'abord nous assurer que l'effet motivationnel observé dans notre première étude peut s'appliquer sur des apprenants d'une autre classe d'âge.
- De plus, comme on l'a déjà signifié, nous n'avons pas étudié, dans notre première étude, la possibilité d'apprentissage dans le cadre de MOCAS. Une telle capacité dépend de l'aptitude du système à ne pas affecter la capacité d'apprenants à se concentrer sur la matière d'enseignement [Pearce, 2005]. Nous voulons donc nous assurer que les apprenants utilisant notre prototype peuvent effectivement se concentrer pour les tâches d'apprentissage qui leur sont proposées durant une session.
- L'un des buts des STI étant de pouvoir fournir une adaptation en temps réel aux apprenants, il est nécessaire de connaître au mieux leur état et en particuliers l'état motivationnel. L'utilisation d'un questionnaire, comme c'est le cas dans notre première étude, implique d'interrompre fréquemment l'activité d'apprentissage pour

obtenir de nouvelles réponses. Cela peut produire un effet négatif sur la dynamique de l'activité d'apprentissage, la mesure (le questionnaire) ayant alors un effet perturbateur qui risque d'affecter l'état motivationnel de l'apprenant [Csiksentmihalyi et Csiksentmihalyi, 1988] : on peut qualifier ce phénomène de « bruit motivationnel ». En d'autres termes, notre première étude nous a permis de mettre en évidence l'effet motivationnel de MOCAS. Pour autant, utiliser de manière répétée un questionnaire tel que la SIMS ne semble pas être une méthode de mesure de la motivation à appliquer dans un processus d'adaptation temps réel d'un STI (durant une activité d'apprentissage). Nous voulons donc en dernier lieu voir comment mesurer la motivation à l'aide de capteurs physiologiques. On veut par ce fait pouvoir déterminer des éléments significatifs de l'état motivationnel d'une personne sans pour autant affecter la dynamique d'une session d'apprentissage. Ainsi, en surveillant l'activité physiologique d'apprenants utilisant notre prototype, nous voulons déterminer si des réactions spécifiques peuvent être mises en évidence lorsque des événements précis se produisent dans l'activité d'apprentissage.

La collecte d'informations physiologiques sur les utilisateurs est une pratique relativement récente dans les domaines des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) et des Interfaces Hommes-Machine (IHM). Dans la partie qui suit, nous présentons les signaux enregistrés, ce sur quoi ils peuvent nous informer et survolons brièvement les utilisations antérieures qui en ont été faites.

### **5.2.2. Introduction aux signaux physiologiques**

Par signal physiologique, on désigne tout signal résultant de l'activité corporelle d'une personne. Les changements qui sont observés dans ces signaux sont généralement inconscients. C'est pourquoi les chercheurs travaillant sur les STI ou les IHM s'y intéressent de plus en plus, notamment dans le but de modéliser l'état affectif des utilisateurs.

Un certain nombre de signaux ont ainsi été utilisés dans de récentes applications. Généralement, on va mesurer :

- la température de la peau (« *Skin Temperature* » : ST);
- la respiration (« *RESpiration* » : RESP);
- des signaux relatifs à l'activité cardiovasculaire comme le rythme cardiaque (« *Heart Rate* » : HR) ou la pression sanguine (« *Blood Volume Pressure* » : BVP);
- la conductivité de la peau (« *Galvanic Skin Response* » : GSR);
- l'activité électrique liée à l'activation musculaire, principalement en employant la technique de l'électromyographie de surface (« *Surface ElectroMyoGraphy* » : SEMG);
- l'activité électrique propre au fonctionnement cérébral par le biais d'électroencéphalogramme (« *ElectroEncephaloGrah* » : EEG).

Pour l'expérience qui va suivre nous disposons des capteurs pour l'ensemble de ces signaux, à l'exception du SEMG.

Nous n'avons pas considéré, dans nos analyses, les signaux illustrant l'activité cardiovasculaire des apprenants. Nous avons en effet remarqué, conformément à d'autres études, que le capteur que nous utilisions était particulièrement sensible au mouvement. Ce capteur, comme nous le verrons par la suite, était placé sur un des doigts de la main gauche des apprenants. Connaissant cette sensibilité au mouvement, nous avons spécifié aux apprenants d'éviter tant que possible des mouvements avec cette main.

A fins d'illustration, nous présentons, dans la figure 35, les enregistrements du rythme cardiaque (HR) pour les sessions de trois apprenants.

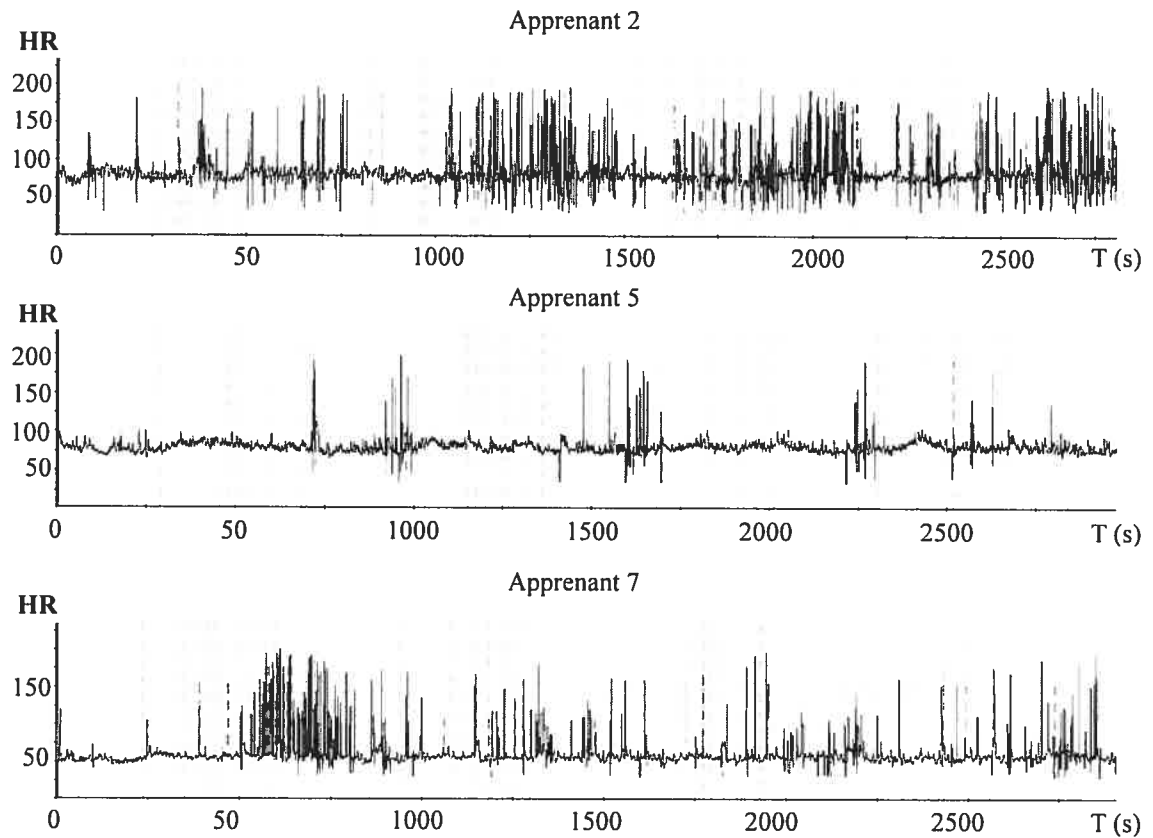


Figure 35. Signal du rythme cardiaque de trois apprenants différents.

On remarque, principalement chez l'apprenant 2, des périodes d'activations particulièrement intenses (variations de l'ordre de 250% de la valeur du signal par rapport à la moyenne habituelle). De prime abord, nous aurions tendance à considérer qu'il s'agit de bruit, d'artefacts dus à des mouvements. Or, chez d'autres apprenants, ces pics sont parfois répartis relativement uniformément sur l'ensemble de la session (apprenant 7), ce qui pourrait signifier qu'ils illustrent effectivement quelque chose. Chez d'autres apprenants encore, ils sont nettement moins fréquents (apprenant 5).

Les lectures que nous avons faites concernant ce problème spécifique ne nous permettent pas de conclure quoi que ce soit à ce sujet. D'autres études ont d'ailleurs abouti à la même conclusion [Conati et al., 2003]. L'utilisation d'un électrocardiogramme, dont les capteurs sont situés sur le torse et qui est reconnu comme nettement moins sensible au mouvement, pourrait sans doute nous permettre d'obtenir des données utilisables. Ce capteur n'était pas disponible au moment de notre étude.

Dans ce qui suit nous présentons les signaux que nous avons analysé dans notre expérience.

### **Signaux physiologiques considérés dans notre expérience**

#### *Température de la peau*

On observe des changements de température de la peau (ST) lorsque l'on est soumis à un événement choc, stressant ou inattendu. Le sang s'écoule alors vers les régions centrales du corps, telles que le cerveau ou la moelle épinière. Cela résulte en un appauvrissement sanguin des extrémités corporelles (mains, pieds). De plus, le système nerveux sympathique, responsable des activités inconscientes de l'organisme, transmet des instructions en vue de contracter les muscles du corps, provoquant une baisse de la température de la peau. Ainsi, une baisse de température est associée à une augmentation de l'anxiété ou du stress. Ces variations se produisent de manière inconsciente. [Demos, 2005].

#### *Respiration*

La respiration (RESP) est le processus par lequel les poumons aspirent et expirent de l'air dans l'atmosphère ambiant. Une ventilation normale humaine dépend du mouvement du diaphragme et des muscles intercostaux. Ainsi, le diaphragme se contracte durant l'inspiration et se relaxe durant l'expiration. La littérature médicale affirme qu'un taux de respiration normal se situe entre 12 et 15 respirations à la minute [Schwartz, 1995].

Il est généralement admis que la respiration est une réponse automatique du corps humain. Elle peut augmenter en réaction à une demande métabolique élevée (exercice physique par exemple) ou à la suite d'émotions ou pensées donnant lieu à des réactions émotionnelles (peur, colère, chagrin, [Ley, 1994]).

L'amplitude et la fréquence de la respiration renseignent sur le niveau d'anxiété des individus. Une personne anxieuse a tendance à prendre de plus grandes respirations. Les périodes d'inspiration donnent alors lieu à une expansion supérieure à la normale de la cage thoracique [Marieb, 1995].

### *La réponse galvanique de la peau*

La réponse galvanique de la peau (GSR) est une méthode employée pour mesurer la conductivité et la résistance électrique de la peau.

Lorsque le système nerveux est stimulé par des phénomènes psychologiques ou physiques, il active des glandes dans la main et les pieds provoquant la sécrétion d'une solution saline. Ceci résulte en une réduction de la résistance électrique mesurée et donc en une élévation du signal GSR. Des mains moites sont généralement indicatrices de stress et de tension alors qu'une réduction de la production de sueur signifiera souvent une diminution des niveaux de stress et de tension [Criswell, 1995].

Le GSR est également directement lié au niveau d'excitation [Lang, 1995]. Il a donc souvent été utilisé pour refléter tant des réactions émotionnelles que des activités cognitives [Boucsein, 1992].

### *L'activité cérébrale*

Un électroencéphalogramme (EEG) est une représentation graphique de l'activité neuronale dans le cerveau que l'on désigne habituellement par le terme d'*activité cérébrale*.

Les hémisphères cérébraux droit et gauche ont chacun leurs spécialités. Ils sont par ailleurs divisibles en plusieurs régions (postérieure, latérale, antérieure, supérieure, dorsale, ventrale, inférieure) correspondant à différents traitements cognitifs [Demos, 2005]. Par exemple, la région postérieure de l'hémisphère gauche est spécialisée dans le traitement des problèmes reliés aux mathématiques et à la logique alors que la région postérieure de l'hémisphère droit traitera plutôt les problèmes reliés à l'orientation spatiale et à la reconnaissance des visages.

Dans le but d'analyser l'activité cérébrale, des capteurs amplifient les signaux électriques émanant du crâne. À l'origine, seul le signal brut est disponible. Une combinaison de filtres matériels et logiciels est alors appliquée afin de segmenter le signal en plusieurs parties appelées onde cérébrales différenciées en fonction de leur plage de

fréquence (en Hertz, Hz). L'amplitude de leur tension (en microvolt,  $\mu\text{v}$ ) renseigne alors sur l'importance de leur activation.

On qualifie une fréquence de lente lorsqu'elle se situe sous la barre des 10 Hz. Une fréquence est, par contre, dite rapide si elle dépasse les 13 Hz. L'activité cérébrale est intimement reliée à ces fréquences. En effet, la prédominance de fréquences lentes est un signe que le cerveau est dans un état d'attente ou de transition. Par contre, si les fréquences rapides dominent, cela signifie que le cerveau est dans une période de forte activité [Demos, 2005]. Les recherches ont mis en évidence que chaque onde cérébrale est significative de certains états mentaux [Demos, 2005 :

- Delta (1 à 4 Hz) : ce sont les fréquences associées au sommeil.
- Theta (4 à 8 Hz) : elles se manifestent principalement chez l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte. Elles caractérisent notamment certains états de somnolence ou d'hypnose.
- Alpha (8 à 12 Hz) : elles caractérisent un état de conscience apaisée et sont principalement émises lorsque le sujet a les yeux fermés. Elles reflètent un état détendu et alerte.
- SMR (12 à 15 Hz) : également appelés « *Low Beta* », ces fréquences signalent un état d'alerte mentale ou de relaxation physique.
- Beta (13 à 21 Hz) : ce sont les fréquences associées à la concentration, la réflexion et l'attention soutenue.
- High Beta (20 à 32 Hz) : ces fréquences peuvent être signes d'anxiété, de réflexion excessive.
- Gamma (38 à 42 Hz) : ces fréquences reflètent un traitement cognitif présent lors de la résolution de problèmes et d'apprentissage.

Des travaux ont mis en évidence l'importance de la présence et de la synchronisation d'ondes Gamma lorsqu'un individu désire effectuer une tâche



cognitivement complexe et cela, dans diverses régions cérébrales [Engel, Singer, 2001]. Plusieurs recherches ont également remarqué des variations spécifiques de l'onde Alpha selon la tâche cognitive en cours (arithmétique mentale [Butler, Glass, 1987], traitement musical [Duffy et al., 1981]). D'autres cliniciens ont détaillé les liens entre des signaux spécifiques du EEG et diverses activités mentales, allant de la mémorisation jusqu'aux émotions [Altenmüller et al., 2005; Demos, 2005].

Le positionnement des senseurs sur le crâne est normalisé par le système 10-20 [Jasper, 1958]. La figure 36 présente ce système.

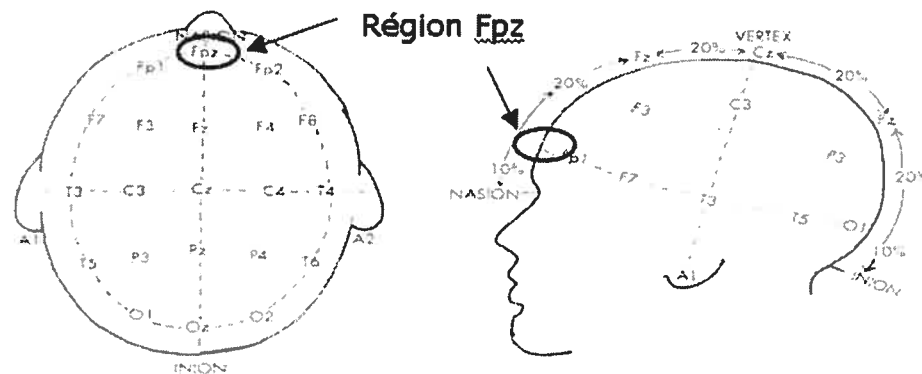


Figure 36. Représentation du système international 10-20 tiré de [Demos, 2005]

Dans notre étude, nous avons positionné notre capteur EEG sur la région *Fpz*. Nous avons choisi cette localisation pour les fonctions pouvant y être mesurées (attention, mémoire, fibre morale, planification, conscience sociale, initiative, motivation [Demos, 2005]) mais également parce que l'absence de cheveux à cet endroit facilitait l'obtention de données de qualité (les cheveux pouvant affecter la conductivité et donc la qualité du signal).

### Interactions homme-machine, e-Learning et physiologie : les travaux antécédents

Nous avons constaté qu'il existait deux approches quant à l'utilisation des données physiologiques dans le domaine des IHM, e-Learning et STI.

La première consiste en l'intégration des données physiologiques dans divers environnements d'apprentissage collaboratifs [Lyons et al., 2004] ou de système de clavardage [Wang et al., 2004]. Cette intégration a comme but d'informer les partenaires de

l'apprenant sur son niveau d'excitation physiologique pour renseigner sur l'état émotionnel. Palke a proposé un système nommé « Brainathlon » [Palke, 2004]. Cette application prend la forme d'un jeu vidéo où les participants doivent apprendre à maîtriser leur activité cérébrale pour contrôler l'interface du jeu. Ces systèmes emploient une méthode appelée « bio-feedback » qui consiste à afficher à l'apprenant diverses représentations de signaux physiologiques manifestés lors d'une activité donnée de manière à lui faire prendre conscience des processus intra corporels en cours.

La seconde approche tente d'identifier des patrons ou des tendances particulières dans les signaux physiologiques dans le but de développer des environnements adaptatifs. Les travaux de Picard peuvent être considérés comme à l'origine de cette approche [Picard, 1997]. Ward et Marsden ont étudié les réponses physiologiques d'apprenants utilisant des sites Web bien conçus versus des apprenants se servant de sites Web mal conçus [Ward, Marsden, 2003]. Ces chercheurs insistent sur le fait que déterminer la causalité de changements physiologiques n'est pas une tâche triviale : un événement émotionnellement excitant ou un effort cognitif important peut en effet résulter en un signal similaire. Ils remarquent qu'un des autres problèmes majeurs lié à l'utilisation de signaux physiologiques pour l'adaptation des IHM réside dans l'extrême volatilité inter et intra personnelle les caractérisant. Dans un but d'adaptation dans des STI, certains chercheurs se sont servi de données physiologiques dans un contexte de détection d'émotion [Conati et al., 2003; Lyons et al., 2004]. Bosma et André [2004] ont par ailleurs combiné deux techniques dans le but de résoudre des ambiguïtés de compréhension dans une discussion. Ils emploient, dans un premier temps, une approche probabiliste à base de réseaux bayesiens pour déterminer l'état émotionnel d'une personne. Dans un deuxième temps, un automate à états finis étudie la signification de ses actes de dialogue en fonction de données physiologiques.

Jusqu'à présent, on remarque que l'activité cérébrale n'a pas été considérée dans le cadre de processus d'adaptation en temps réel dans les domaines des STI et IHM. On note également que tous les travaux que nous venons de citer et qui ont pour but de permettre l'adaptation en fonction de données physiologiques, analyse les données physiologiques a posteriori : la méthodologie de construction de modèles prédictifs semble donc être celle

toute désignée si l'objectif visé est l'adaptation. Par modèle prédictif, nous désignons l'approche visant à établir une classification des individus en fonction de données recueillies à un moment donné, cette classification étant par la suite utilisée pour prédire le groupe (la classe) dans lequel se trouve un individu durant une autre période. L'adaptation peut alors se produire en fonction du groupe auquel appartient l'individu. Dans une variante, on identifiera et on classifiera les « patterns significatifs » du signal plutôt que les individus. Les techniques employées pour ce genre de modèle sont multiples : réseaux de neurone, réseaux bayesiens, raisonnement à base de cas.

Après cette rapide introduction aux recherches portant sur l'utilisation de données physiologiques dans les STI et IHM, nous allons décrire, dans ce qui suit, l'étude que nous avons menée.

### **5.2.3. Description de l'échantillon et méthodologie**

#### **Protocole expérimental et description de l'échantillon**

L'expérience s'est déroulée dans un bureau du département d'informatique de l'Université de Montréal. La porte était fermée et un chercheur était présent avec l'apprenant afin de placer des marqueurs dans le logiciel d'enregistrements lorsque des événements jugés importants avaient lieu. Le logiciel permet en effet de voir, sur un même écran, les enregistrements de l'ensemble des capteurs ainsi que des deux webcams et offre la possibilité au chercheur d'insérer des marqueurs lorsque celui-ci juge qu'un événement d'intérêt vient d'avoir lieu de manière à pouvoir revenir l'étudier par la suite

Nous avons enregistré les signaux physiologiques de 18 apprenants en bonne santé alors qu'ils utilisaient notre prototype. L'âge moyen est de 27 ans (écart type = 3.88). La durée des enregistrements a varié entre 45 et 55 minutes dépendamment des apprenants.

#### **Principe de l'expérience**

Chaque apprenant doit trouver son chemin dans quatre mondes 3D successifs (quatre sessions différentes utilisant notre prototype MOCAS).

Pour ce faire et à deux reprises dans chaque monde 3D, l'apprenant doit lire un texte présenté par un agent pédagogique, le premier sans contrainte de temps et le second dans un temps limité afin de provoquer un stress. Pendant la lecture, l'apprenant essaie de retenir autant que possible les informations présentées dans le texte. Par la suite, des questions relatives à ce texte lui sont posées par des agents pédagogiques. Suivant les réponses de l'apprenant, ces agents pédagogiques lui conseillent de suivre une direction ou une autre. S'il s'aventure dans une mauvaise direction, il tombe dans un cul de sac et un agent l'informe de son erreur. L'apprenant se voit alors obligé de rebrousser chemin et de revenir au précédent agent pédagogique lui ayant posé une question. La figure 37 présente une vue de dessus d'une partie d'un des quatre mondes 3D.

Les flèches présentes dans la figure 37 indiquent le chemin parcouru par l'avatar d'un apprenant. En suivant ce chemin, on distingue les lettres a, b, c, et d. Celles-ci réfèrent aux captures d'écran présentées dans la figure 38.

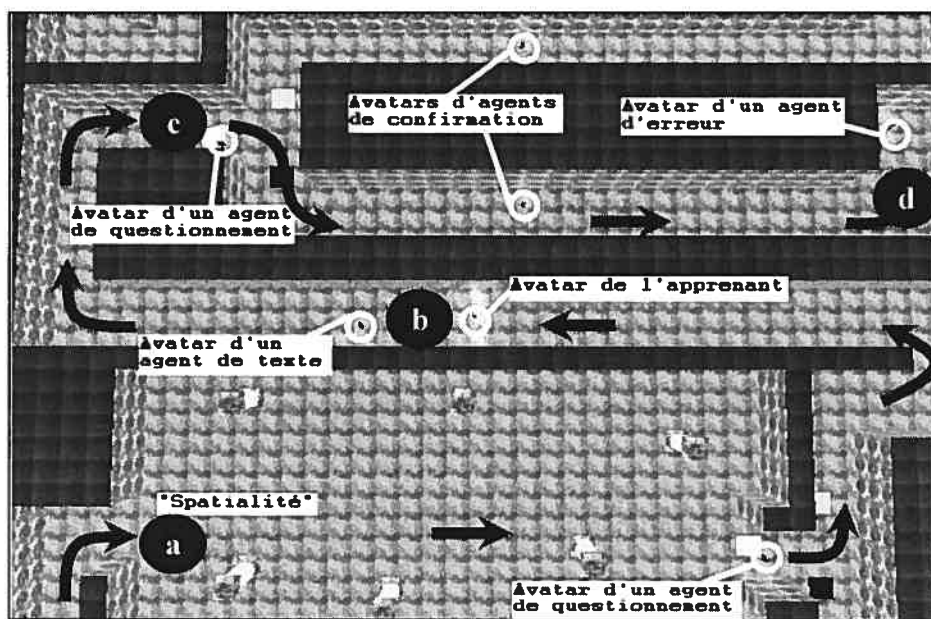


Figure 37. Vue de haut d'un monde virtuel 3D de MOCAS

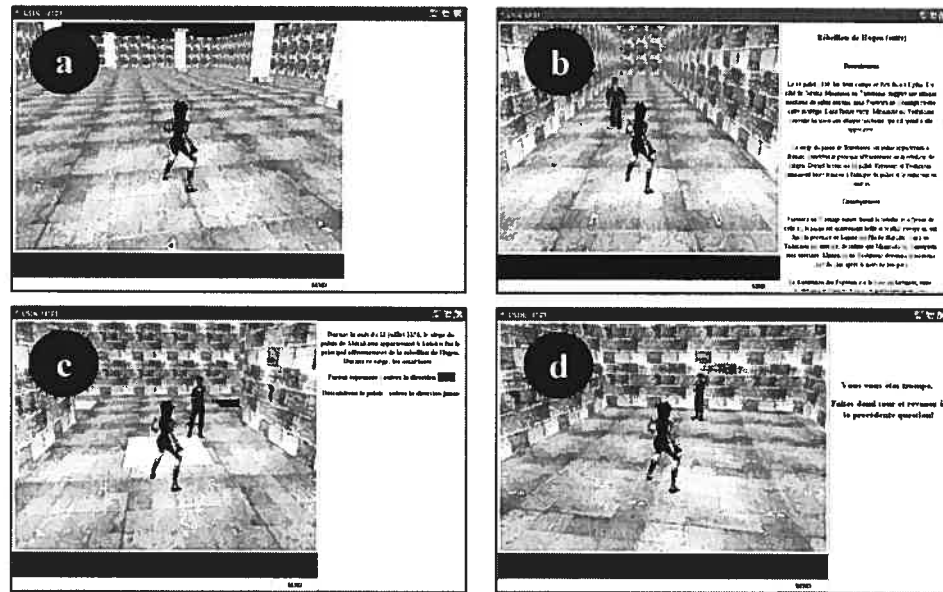


Figure 38. Interfaces à divers moment durant le parcours d'un monde 3D dans le système MOCAS

Ainsi la capture d'écran « a » correspond à l'interface graphique de l'apprenant quand son avatar arrive à la position « a ». Il sort d'un couloir pour entrer dans une vaste salle. À la fin de cette salle, un avatar lui pose une question. En fonction de la réponse qu'il favorise, l'apprenant a le choix entre suivre un chemin marqué d'une dalle bleue ou d'un autre marqué d'une dalle jaune. Il fait le bon choix (dalle jaune) et poursuit son chemin jusqu'à un avatar d'agent qui, cette fois lui présente un nouveau texte (position « b »). Après avoir fini de lire ce texte, l'apprenant reprend sa route jusqu'à un autre avatar qui lui pose une question sur le texte qu'il vient de lire (position « c »). Dans le cas présent, l'apprenant prend la mauvaise décision (dalle bleue). Il croise alors un avatar qui lui reformule la question, l'incitant à réfléchir de nouveau sur sa précédente décision. L'apprenant persiste dans son erreur mais s'en rend compte peu après quand il arrive dans un cul de sac et qu'un avatar lui signifie qu'il s'est trompé (position « d »). Il doit alors revenir en arrière et prendre cette fois le bon chemin. Par la suite, il aura encore des choix similaires à faire de manière à atteindre la fin du monde virtuel 3D.

L'apprenant évolue tour à tour dans quatre mondes virtuels 3D qui présentent de légères variations. Tous ont cependant en commun de présenter deux textes portant sur un domaine similaire, le premier sans contrainte de temps et le deuxième dans un temps

fortement limité (calculé de manière à ce que le texte ne puisse être lu en entier, ce qui est générateur de stress comme le confirment effectivement nos observations postérieures).

Afin de garantir un niveau équivalent de connaissance chez tous nos apprenants, nous avons choisi un domaine que nous pensions (à juste titre) inconnu des apprenants. Ce domaine était l'histoire asiatique dans la période située entre le XI<sup>ème</sup> et le XVI<sup>ème</sup> siècle de notre ère. Le premier monde 3D comprend deux textes portant sur la dynastie chinoise Ming. Le second traite de la rébellion de Hōgen, un épisode de l'histoire japonaise. Le troisième mentionne Tamerlan, un conquérant originaire des environs la ville de Samarcande et le quatrième monde 3D fait une introduction à l'histoire du Sultanat de Delhi.

### **Matériel d'évaluation**

L'enregistrement des signaux physiologiques est effectué en temps réel grâce à un kit de bio-surveillance (« bio-feedback ») nommé « ProComp Infiniti » [URL 6]. Le ProComp Infiniti joue également le rôle d'encodeur (transformant les données analogiques en données numériques). De fait, il est en mesure de recevoir, d'échantillonner et d'encoder simultanément jusqu'à huit signaux physiologiques en temps réel. Chaque signal est assigné à un canal possédant une capacité d'échantillonnage précise. Ainsi, le signal de l'EEG a été enregistré à raison de 2048 valeurs à la seconde. Les autres signaux physiologiques, nécessitant une précision moindre, ont quant à eux été enregistrés à raison de 256 valeurs à la seconde.

### **Positionnement des capteurs physiologiques**

Les capteurs utilisés pour cette expérience ont été méticuleusement installés sur les apprenants. La figure 39 montre la disposition des ces différents matériels.

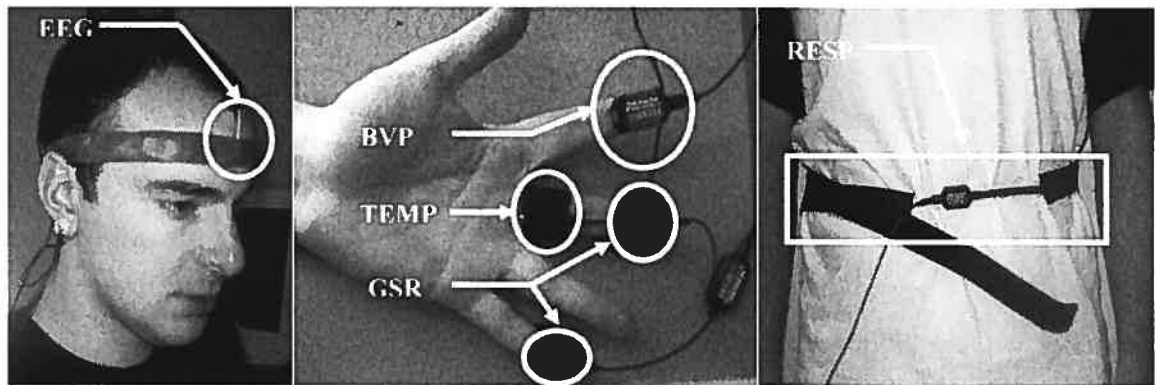


Figure 39. Positionnement de différents capteurs physiologiques

La littérature médicale stipule des critères qui se doivent d'être scrupuleusement observés pour minimiser le bruit dans les signaux obtenus :

- le capteur de la respiration est relié à une ceinture en velcro par un tube en caoutchouc extensible (la mesure de la respiration étant déduite de l'extension de ce tube). Après une expiration normale, le capteur est placé à la hauteur du diaphragme en s'assurant que l'élasticité est la plus faible possible.
- le capteur EEG est positionné à la localisation Fpz du système 10-20. Cette position se trouve à 10% de la distance totale séparant l'inion du nasion, en partant de ce dernier (voir figure 35). On s'assure de maintenir la résistance entre les électrodes et la surface de la peau idéalement en dessous du seuil de  $5k\Omega$  et à tout prix en dessous de  $10k\Omega$ . Cette mesure est extrêmement importante afin d'obtenir un signal cérébral clair et précis.
- le capteur GSR est placé sur deux doigts non voisins. On s'assure que la pression exercée par les velcros maintenant les capteurs en place n'altère pas fortement la circulation.
- le capteur de température (ST) est situé sur le majeur, en contact constant avec la peau.
- le capteur BVP est scotché à l'index de façon ferme. Là encore, on évite de couper la circulation. Comme on l'a dit précédemment, nous avons identifié que ce capteur





La première des périodes significatives consiste en un test de stress d'une durée de cinq minutes. L'objectif réel de cette période est de vérifier que les enregistrements provenant des différents capteurs ne sont pas anormaux et surtout de distraire et d'acclimater l'apprenant au matériel. On cherche ainsi, avant le début de l'activité, à atténuer l'effet de nouveauté produit par la pause récente des appareils physiologiques qui pourrait résulter en du bruit sur les signaux physiologiques.

Un premier monde 3D est ensuite proposé à l'apprenant. Les données collectées ne sont pas réellement prises en compte. On cherche alors à habituer l'apprenant à l'utilisation du prototype MOCAS, principalement au contrôle de son avatar dans le monde 3D.

Par la suite, les quatre mondes virtuels dont nous avons parlé vont être tour à tour présentés. Rappelons que, dans chacun de ces mondes, un apprenant doit lire deux textes, la seconde lecture étant limitée dans le temps afin d'induire un certain stress. Il devra par la suite se remémorer les informations présentes dans le dernier texte lu pour trouver son chemin dans un labyrinthe virtuel.

Chaque exposition à un monde 3D est suivie d'une période de débriefing oral. Le chercheur présent pose alors des questions concernant les sensations qu'a ressenties l'apprenant durant son parcours dans le monde 3D (difficulté des textes, sentiment subjectif de stress/anxiété ressenti à différents moments).

Un débriefing final a également lieu juste avant la fin de l'expérience. On pose trois questions à l'apprenant : si le système est dans son ensemble facile d'utilisation, s'il pense que la façon de présenter la matière a rendu celle-ci plus motivante que si elle avait été présentée via un site Web et enfin, à quel point il a gardé conscience des différents capteurs qui lui avaient été apposés.

#### **5.2.4. Résultats**

La partie suivante discute des résultats obtenus dans les périodes de débriefing au moyen de questionnaires d'évaluation et également des signaux physiologiques récoltés pendant l'utilisation de notre prototype de MOCAS.

## Le questionnaire d'évaluation

### Résultats

La figure 41 présente les moyennes obtenues pour chacune des questions posées à nos apprenants, en fonction des différents mondes 3D.

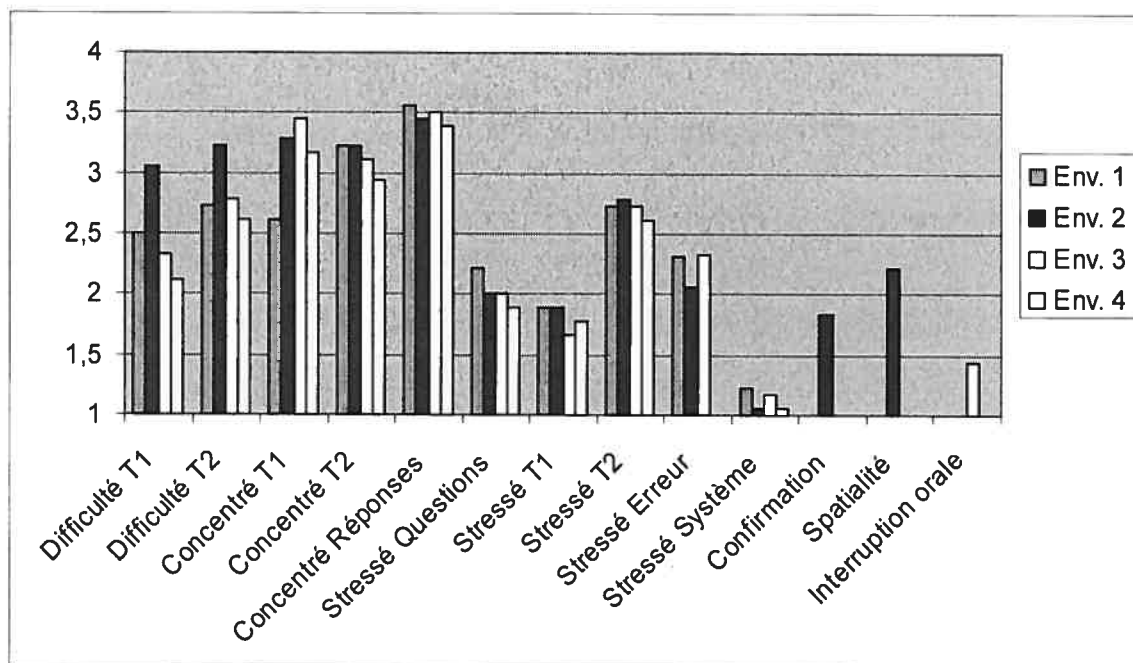


Figure 41. Résultats moyens aux questions de débriefing suivant chaque monde 3D

Une valeur de 1 signifie que le niveau de l'item est vu comme faible, en moyenne, par le groupe d'apprenants alors qu'une valeur de 4 exprime un niveau élevé.

L'acronyme T1 réfère au premier texte lu dans un monde 3D. Similairement, T2 se rapporte au deuxième texte lu, le temps de lecture étant alors limité comme on l'a déjà mentionné.

Voici une explication des différents éléments mesurés dans la figure 41 :

- « Difficulté T1 » et « difficulté T2 » portent sur la difficulté de compréhension des premier et deuxième textes de chaque carte;

- « Concentration T1 » et « Concentration T2 » renseignent sur le niveau (subjectif) de concentration pendant la lecture de chacun de ces textes;
- « Concentré réponses » traduit le niveau de concentration pour répondre à une question;
- « Stressé questions » présente le niveau de stress/anxiété ressenti lors de la lecture des questions;
- « Stressé T1 » et « Stressé T2 » et représentent le niveau de stress (subjectif) lors de la lecture des textes;
- « Stressé erreur » représente le niveau de stress ressenti quand un apprenant s'aperçoit qu'il s'est trompé. Il n'y a pas de données pour le monde virtuel 3D numéro 4 car l'apprenant répond à un ensemble de questions sous forme d'un questionnaire à choix multiples et n'est pas averti du résultat obtenu. De plus son chemin est linéaire et il n'a donc aucun risque d'arriver dans un cul de sac;
- « Stressé système » informe sur le stress provoqué par l'utilisation du système;
- « Confirmation » traduit la perturbation ressentie par l'apprenant suite à sa rencontre avec un agent pédagogique qui lui reformule la dernière question auquel il a eu à faire face. Il doit alors réfléchir de nouveau à son choix (événement ne se produisant que dans le monde numéro 2);
- « Spatialité » rapporte le niveau de la perturbation ressentie par l'apprenant lorsqu'il arrive dans une vaste salle qui diffère des couloirs exigus qu'il a emprunté jusqu'à présent (événement ne se produisant que dans le monde numéro 2);
- « Interruption orale » cherche à déterminer si une interrogation extérieure imprévue perturbe un apprenant. A un moment précis, le chercheur présent dans la salle où a lieu l'expérience demande à l'apprenant d'interrompre son déplacement car une question doit lui être posée sur le dernier texte lu. L'apprenant n'était pas prévenu

qu'une telle question allait se produire (événement ne se produisant que dans le monde numéro 3).

### *Analyse*

L'analyse de la figure 41 nous permet d'émettre quelques observations :

- Quel que soit le monde 3D, la difficulté ressentie pour les textes lus apparaît relativement similaire. Le texte chronométré est cependant toujours vu comme plus complexe que le texte non chronométré. Cela pourrait être du au stress engendré. Les textes du monde 3D numéro 2, portant sur la rébellion de Hōgen, apparaissent néanmoins un peu plus difficiles que les autres. On remarque aisément que les textes chronométrés provoquent un niveau de stress nettement plus élevé que les textes lus sans contrainte temporelle. Cet élément était fortement espéré, l'un de nos objectifs étant d'analyser les variations physiologiques liés au stress.
- Le niveau de concentration au moment d'une lecture est relativement élevé. Le tout premier texte présenté fait cependant exception à la règle. Il faut peut être un temps d'adaptation aux apprenants avant de s'impliquer totalement dans l'activité.
- Le niveau de concentration au moment où ils sont confrontés à une question est extrêmement élevé dans tous les mondes virtuels, signe que les apprenants considèrent sérieusement l'activité. Cependant, le stress éprouvé dans le cas d'une erreur semble mesuré, ce que l'on pourrait comprendre par une relativisation de l'importance de l'activité (une réussite ou un échec dans l'activité n'a pas d'impact sur le futur des apprenants).
- Le système n'est pas du tout perçu comme anxiogène. Très rapidement, tous les apprenants sont capables de s'adapter aux commandes de notre prototype, ce qui semble démontrer qu'elles sont relativement intuitives. Selon [Ryan et al., 2006], dans le cas des jeux vidéo, l'intuitivité des commandes affecte positivement le sentiment de compétence ressenti dans le jeu. Même si cet aspect ne figure pas dans les recommandations que nous avons suivies pour le développement de notre prototype de MOCAS, cet aspect nous semble donc tout à fait bienvenu.

- Les apprenants semblent ne pas trop se remettre en question suite à une demande de confirmation et d'ailleurs, seul un apprenant sur 18 a changé effectivement de sens (à tort).
- Les apprenants semblent être sensibles à la nouveauté du décor 3D de manière mesurée. Nous supposons que l'arrivée dans un espace 3D plus ouvert (événement « spatialité ») pouvait aller à l'encontre d'une certaine oppression ressentie du fait de parcours dans des couloirs étroits. Nos données ne nous permettent pas vraiment de conclure sur cette question.
- Les apprenants disent également ne pas être affectés par des interruptions extérieures. Cependant, des comportements visuels observés par le chercheur présent au moment de l'évaluation nous font penser le contraire dans certains cas (sursaut, temps mis par l'apprenant avant d'accéder à la demande du chercheur de s'arrêter...). Cela confirme la méfiance à adopter vis-à-vis de résultats obtenus exclusivement par l'intermédiaire de questions portant sur des éléments affectifs ressentis antérieurement (voir, à ce sujet, la partie portant sur les questionnaires, dans l'état de l'art sur la motivation).

Comme nous l'avons dit plus tôt, une période de débriefing vient ponctuer l'activité. Le tableau 5 présente les résultats des trois questions qui y ont été posées.

Tableau 5. Réponses aux questions du débriefing final de l'étude 2.

Facile				Moyennement facile			
89%				11%			
Q2 : Pensez-vous qu'il était plus intéressant de suivre un cours avec notre système que si les mêmes informations avaient été présentées sous forme d'un site web?							
Prototype MOCAS		Site web		Aucune différence			
88%		6%		6%			
Q3 : À quel point avez-vous gardé conscience des capteurs positionnés sur votre main gauche ?							
Oubli de la présence des capteurs		Faible conscience		Forte conscience de la présence du matériel			
44%		44%		11%			
Q4 : A quel point avez-vous gardé conscience du capteur positionné sur votre front (EEG)?							
Oubli de la présence du capteur		Faible conscience		Forte conscience de la présence du matériel		Douleur ressentie au niveau du front	
39%		33%		11%		17%	

Tout d'abord, comme on l'avait vu dans les réponses aux débriefings suivant chaque monde 3D, l'utilisation du système a été ressentie comme facile d'utilisation par beaucoup d'apprenants (16/18).

Une forte majorité d'apprenants a également trouvé l'apprentissage au moyen de MOCAS plus stimulant que si les mêmes informations avaient été transmises par l'intermédiaire d'un site Web. Les apprenants ont généralement trouvé l'expérience plaisante, ce qui confirme l'intérêt d'un tel système par rapport à d'autres techniques de e-Learning plus classiques qui peuvent provoquer des réactions émotionnelles négatives [O'Regan, 2003]. On note également que cet intérêt est observé chez des apprenants plus âgés que dans la première de nos études. Cela nous amène à supposer que l'utilisation de jeux vidéo éducationnels peut être efficace pour différentes franges de la population dès lors que la simulation mise en place tient compte des caractéristiques du groupe cible d'utilisateurs

Les capteurs physiologiques sont généralement supposés être ressentis comme physiquement intrusifs. Cependant, les données que nous obtenons dans les questions 3 et 4 tempèrent cette supposition. Seuls 2 des 18 personnes (11%) ont dit être conscients des

capteurs présents sur leur main gauche durant toute l'expérience, ce qui nous apparaît relativement faible sans pour autant être négligeable.

En ce qui a trait à la présence du capteur EEG, on s'attendait à ce que les apprenants ressentent nettement plus fortement ce capteur que les autres. 39% des participants en ont pourtant complètement oublié la présence. Ainsi, 7 personnes sur 10 ont peu ou pas du tout gardé conscience de la présence du EEG. Si la présence du EEG était été trop remarquable, cela aurait pu affecter la concentration des apprenants pendant l'activité d'apprentissage et donc rendre moins justifiable une utilisation futur d'un tel matériel en e-Learning. On doit cependant noter qu'une certaine douleur s'est manifestée à la longue chez deux apprenants, peut être parce que le bandeau servant à maintenir le capteur en place avait été trop serré.

### **Les données physiologiques**

Il a été clairement démontré, dans les travaux précédents, que certains événements liés à l'interface ou aux activités d'apprentissage peuvent déclencher des réactions physiologiques. Dans notre cas, nous avons remarqué énormément de changements physiologiques qui semblent liés à divers événements. Par exemple :

- les périodes de lectures sont souvent précédées d'une grande respiration, comme si l'apprenant prenait une grande bouffée d'air avant de débiter une importante période de concentration;
- des perturbations du GSR sont souvent remarquées lorsque l'apprenant rencontre un agent pédagogique;
- le GSR est également particulièrement réactif lors des périodes de débriefing oral;
- le seul signal qui ne semble pas évoluer à court terme est le signal de la température de peau (ST).

Ces différents patrons, même s'ils sont très fréquents pour certains, n'apparaissent jamais systématiques chez l'ensemble des apprenants. Tel que prévu dans la littérature

[Ward, Marsden, 2003], des différences individuelles sont observées dans la manifestation des signaux physiologiques. Les Figures 42 et 43 présentent les signaux GSR et ST obtenus pour trois individus différents pour l'ensemble de l'activité (la durée moyenne de celle-ci oscillant autour de 50 minutes -3000 secondes-). Ces trois apprenants ont été choisis car leurs signaux sont particulièrement représentatifs des variations individuelles observées sans pour autant que l'on puisse dire que ces apprenants ont un comportement complètement atypique. Il est également important de mentionner que les lignes pointillées verticales distinguables sur les figures 42 et 43 sont des marqueurs d'événements importants dont nous avons parlé précédemment (tels que la lecture d'un texte, l'apparition d'un cul de sac ou le questionnement de l'apprenant par un avatar virtuel). Les périodes comportant peu de ces lignes peuvent donc être identifiées comme les périodes de transition (repos + débriefing) entre deux mondes 3D.

Dans la figure 42, l'apprenant 2 connaît la variation de GSR la plus forte : elle est d'environ 133% (8 micro-Siemens ( $\mu$ S) de différence entre 14  $\mu$ S et 6  $\mu$ S) alors qu'elle est d'environ 10% pour l'apprenant 5 (0.4  $\mu$ S de différence entre 4.4  $\mu$ S et 4  $\mu$ S) et d'environ 32% pour l'apprenant 7 (1.6  $\mu$ S entre 6.6  $\mu$ S et 5  $\mu$ S). Ceci confirme bien que certains sujets sont nettement plus réactifs que d'autres [Ward, Marsden, 2003].



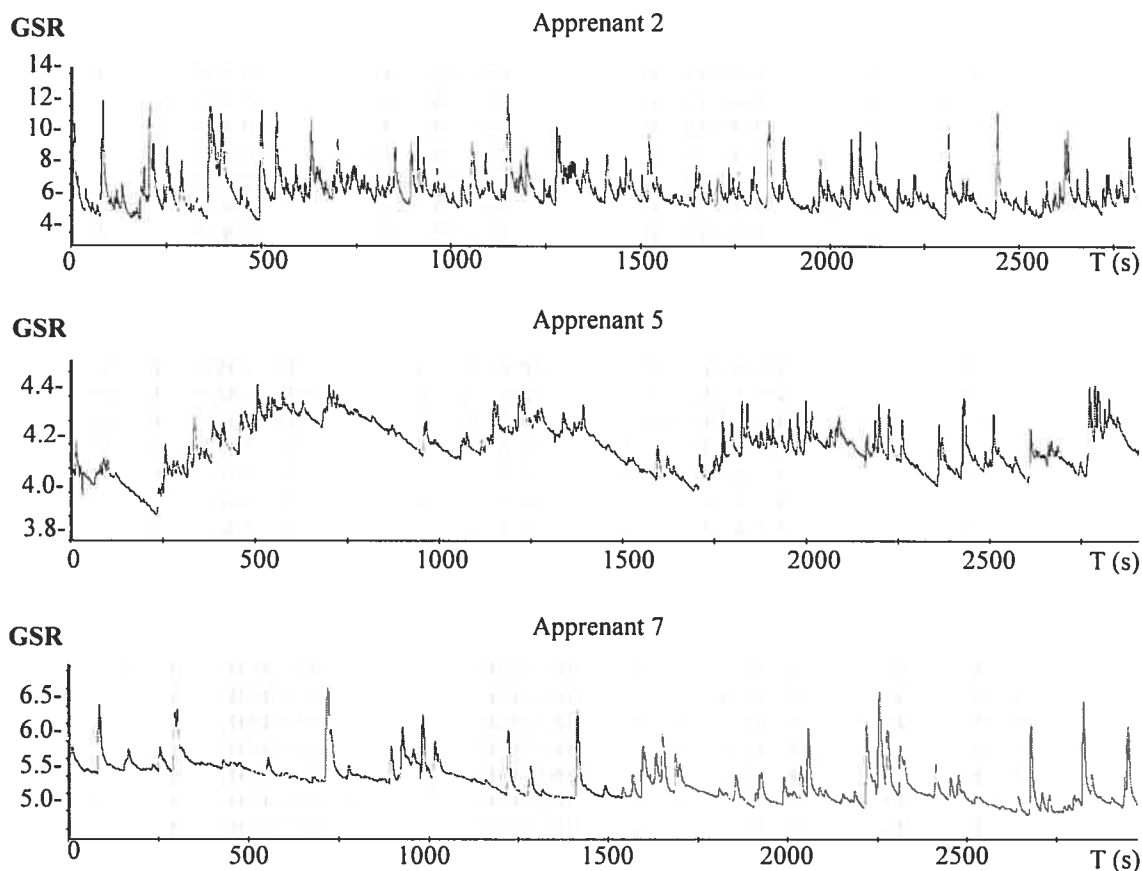


Figure 42. Conductivité de la peau (GSR) pour trois apprenants différents.

Dans la figure 43, en comparant la moyenne de température de chaque apprenant, on observe que celle de l'apprenant 2 se situe aux alentours de 33.5 degrés comparativement à environ 28.0 degrés pour l'apprenant 5 et environ 24.2 pour l'apprenant 7. Dans l'ensemble de notre groupe, la moyenne de température des apprenants varie généralement entre 28 et 32 degrés. Le signal ST met plus en évidence l'évolution de l'état d'un apprenant à long terme. Il apparaît ainsi plus pertinent d'observer les changements de température au cours d'une session complète et d'en déduire un état général. Les changements de températures se produisant dans un délai relativement long, l'utilisation de ce signal pour de l'adaptation temps réel ne nous semble pas approprié.

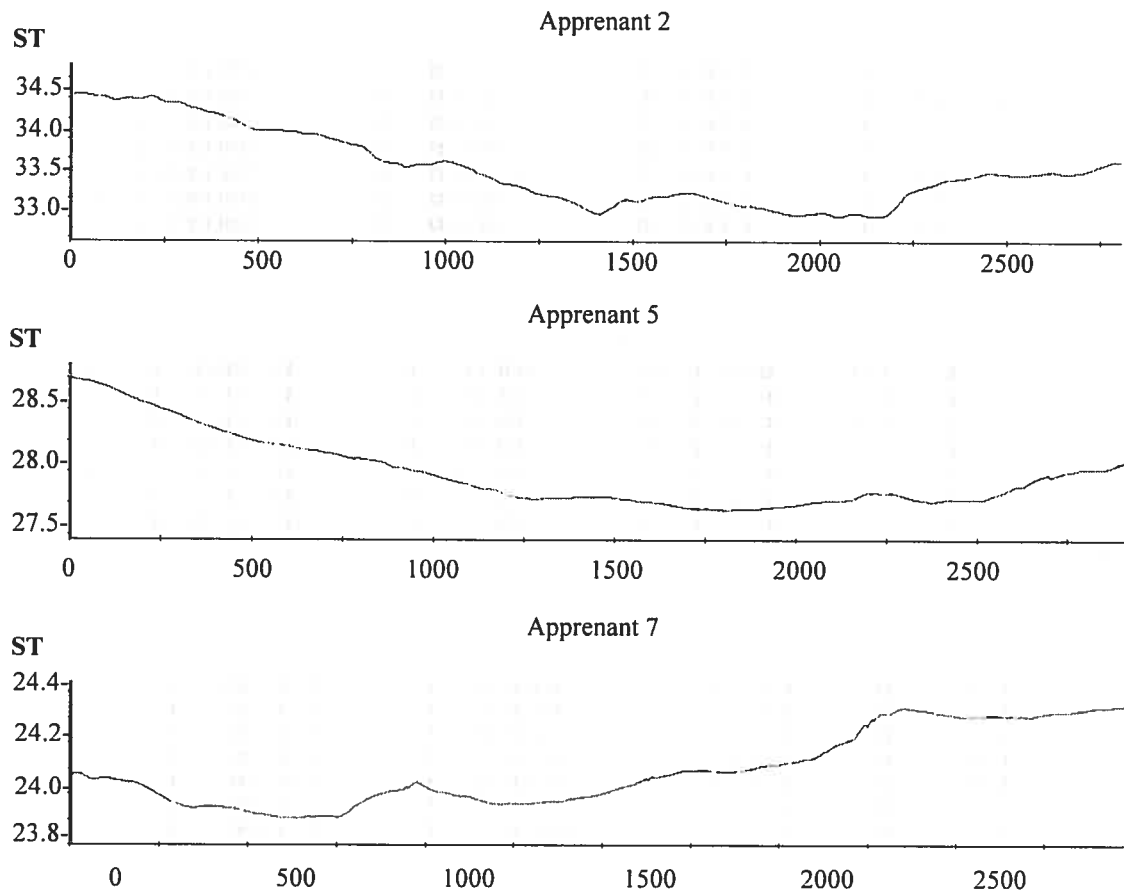


Figure 43. Température de la peau (ST) pour trois apprenants différents

### Pertinence du EEG

Le signal EEG nous fournit plusieurs indices pouvant nous renseigner sur l'activité mentale d'un apprenant à un moment donné. Les informations fournies par l'EEG peuvent nous renseigner directement sur la causalité d'un changement physiologique (émotion, concentration) alors que dans le cas des informations fournies par les autres signaux, cette causalité ne peut qu'être supposée en fonction de recoupements. L'EEG apporte donc des données extrêmement utiles à la modélisation affective et cognitive de l'apprenant.

Nous avons décidé d'effectuer un traitement informatisé du signal brut obtenu du capteur EEG afin de pouvoir en extraire de l'information pertinente. De fait, nous utilisons un filtre appliquant une transformée de Fourier sur le signal EEG pour une période d'une seconde entourant l'événement observé (donc une demi seconde avant et une demi seconde

après l'occurrence de l'événement). Ce filtre nous permet donc d'obtenir la répartition des fréquences du signal dans cette période. Nous extrayons alors la fréquence dominante pendant cet intervalle. La fréquence dominante (associée à une des ondes cérébrales) nous renseigne sur l'activité cérébrale s'étant la plus manifestée pendant cette période.

Les figures 44 et 45 présentent les 30 premières secondes de deux périodes de lecture chez un même apprenant. Plus précisément, la figure 44 présente les signaux pour la lecture d'un texte non chronométré, donc sans limite de temps alors que la figure 45 présente les signaux durant une lecture où le temps est limité, mettant ainsi l'apprenant sous pression. Nous avons mis en évidence les deux gammes de fréquences propres aux ondes Gamma et High Beta afin de faciliter l'interprétation des données.

Lors de la lecture des figures suivantes, on doit se concentrer sur la valeur de la fréquence dominante à un moment précis plutôt que sur l'évolution de la courbe du signal filtré du EEG.

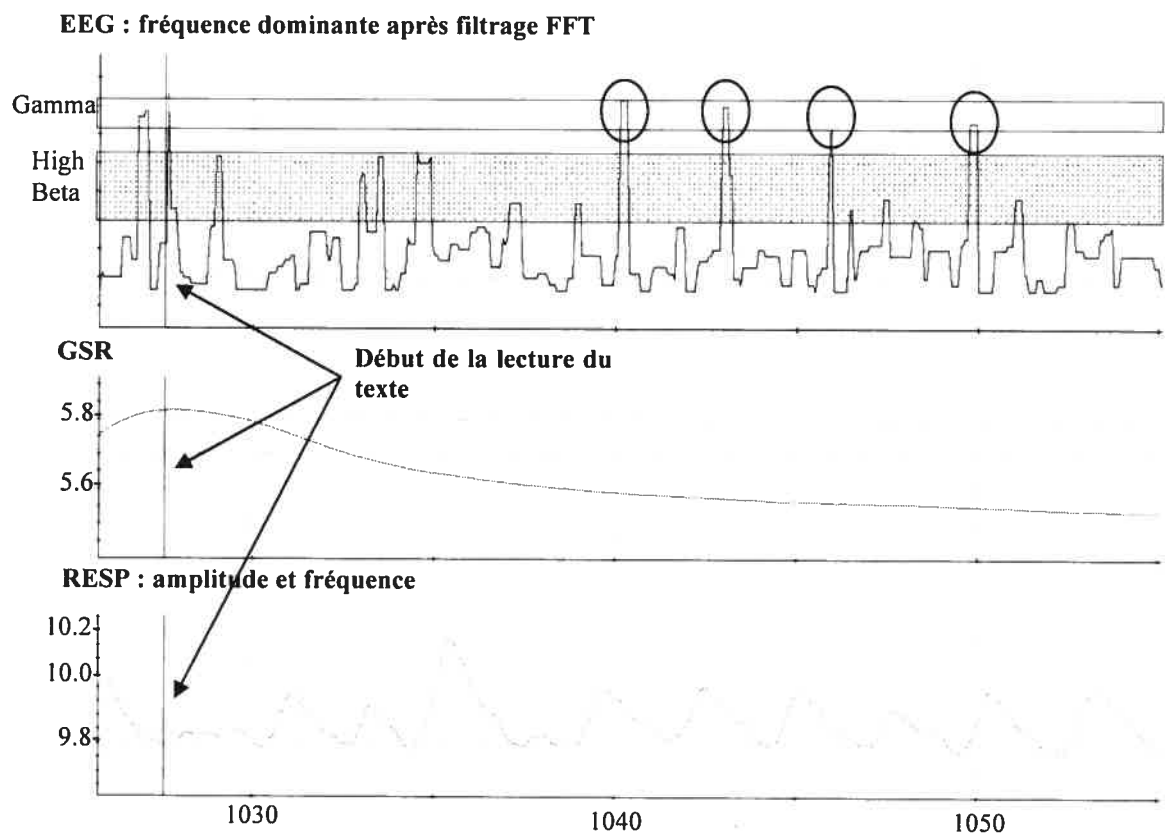


Figure 44. EEG, GSR et RESP lors de la lecture d'un texte sans contrainte temporelle

Nous voyons la présence significative d'ondes Gamma aux endroits encadrés de la figure 44. La présence marquée d'onde Gamma indique qu'un processus lié à l'apprentissage a lieu (voir partie 5.2.2.). Cette information n'aurait pu être perçue avec la seule lecture des signaux GSR et RESP. En effet, le GSR est en baisse constante après le début de la période de lecture et RESP a une période et une amplitude relativement constantes, ce qui semblerait signifier un apaisement.

La figure 45, quant à elle, présente un cas où la présence du EEG est nécessaire à une bonne interprétation de la situation en cours. Cette figure présente le même apprenant que dans la figure 44 mais cette fois-ci au moment d'une lecture limitée dans le temps, ce qui ne permet pas de terminer le texte. Là encore, comme dans la figure précédente, GSR et RESP semblent plutôt se stabiliser au fur et à mesure du temps. La simple interprétation de ces deux valeurs pourraient nous amener à faussement conclure que le degré d'excitation de l'apprenant tend à baisser. Or, l'EEG montre très clairement une nette dominance de High Beta, indicatif d'un état hyper alerte ou encore d'anxiété [Demos, 2005].

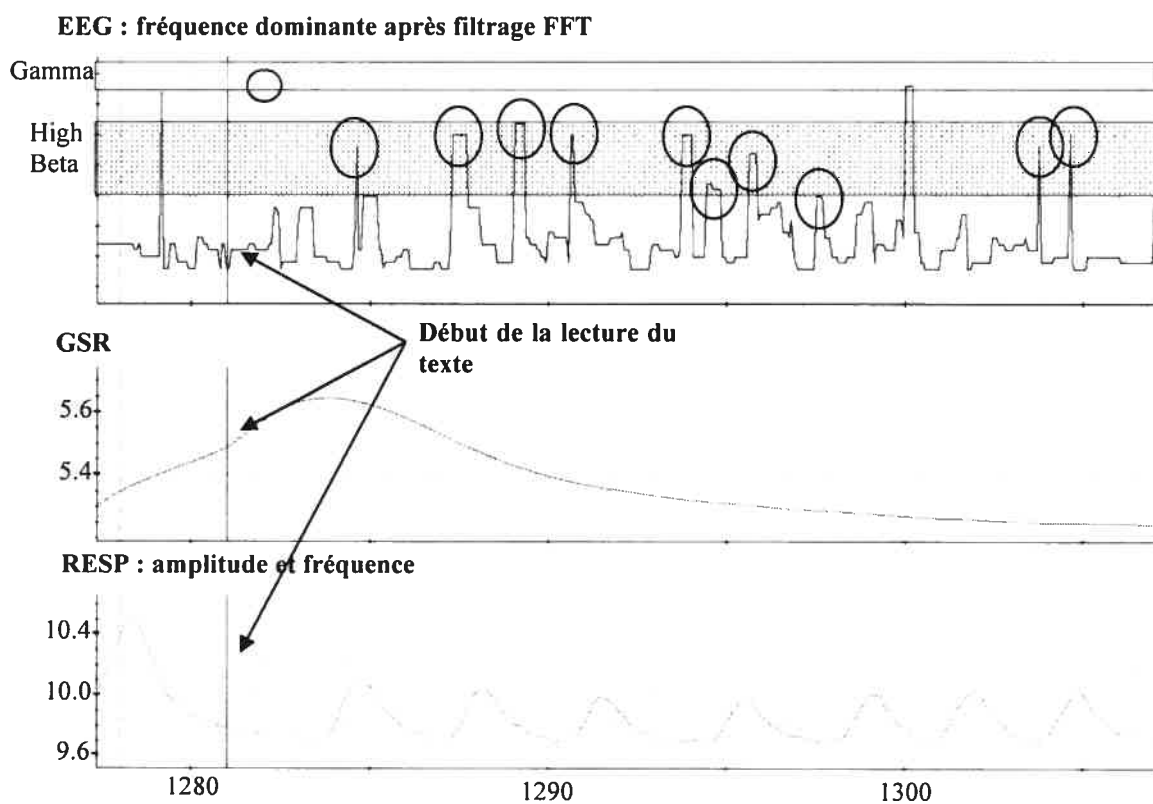


Figure 45. EEG, GSR et RESP lors de la lecture d'un texte avec contrainte temporelle

De plus, il est important de noter que dans les deux figures, les signaux physiologiques classiques (GSR et RESP) présentent une variation quasi similaire, à savoir une légère augmentation puis une baisse continue du GSR et une RESP plutôt stable. On aurait pu conclure, à tort, que l'apprenant se trouvait dans le même état physiologique. Pourtant, les signaux du EEG nous permettent, dans les deux situations, de révéler des états mentaux complètement différents. Dans le premier, de l'apprentissage a lieu alors que dans le deuxième, ce n'est pas le cas et qu'il semble que l'apprenant manifeste une certaine anxiété.

Les signaux EEG ont été utilisés dans notre expérience pour confirmer les réponses des apprenants obtenus durant les périodes de débriefing. Par exemple, l'apprenant de la figure 45 a noté son niveau d'anxiété/stress à 4/4 concernant cette période de lecture chronométrée. Le EEG nous permet en effet de confirmer le niveau important d'anxiété présent lors de la séance de lecture.

Parfois cependant, les données du EEG ont infirmé les réponses du débriefing comme une présence flagrante de High Beta après l'« interruption orale », alors que l'apprenant ne s'était pas dit affecté par cet évènement.

### **5.2.5. Discussions**

#### **Réflexion sur les états mentaux observés dans notre prototype**

La présence significative d'onde Gamma, synonyme d'apprentissage, au moment de la lecture d'un texte confirme bien qu'il est possible à un individu de se concentrer pour une activité d'apprentissage prenant place dans notre prototype de MOCAS.

La présence significative d'ondes High Beta, synonyme d'anxiété mais également de concentration active dans certains cas, montre que l'impact d'apprentissage d'un cours dans notre prototype de MOCAS ne dépend pas uniquement de la conception de cette plateforme qui vise à encourager le sentiment d'autonomie. L'anxiété peut avoir un effet positif sur la motivation si elle se produit à un niveau mesuré [Pearce, 2005]. Mais si l'anxiété présente chez un apprenant devient trop importante, ses capacités de concentration

de même que sa motivation peuvent s'en voir grandement affectées. En tout temps, le concepteur d'un cours avec notre prototype devra donc permettre au système de fournir des ressources didactiques de qualité, à l'apprenant et ce, de la meilleure façon possible.

### **La difficulté d'un modèle d'apprenant classique pour considérer l'aspect physiologique**

Les travaux antérieurs ont fait appel à des modèles prédictifs (catégoriser les apprenants ou le signal en fonction de données d'entraînements obtenues auparavant). Nous pensons qu'il est difficile de prendre en compte efficacement et de manière fiable les données provenant de capteurs physiologiques. Cela tient à un aspect reconnu des signaux physiologiques et que nous avons également illustrés : leur extrême variabilité.

Même si l'on dispose d'un très fort niveau de contrôle sur l'environnement aussi bien au moment de la période d'entraînement que de toutes les activités d'apprentissage (ce qui serait contraignant à outrance), on se heurte à deux problèmes majeurs :

- Tout individu réagit physiologiquement d'une manière qui lui est personnelle. Certains sont par exemple plus réactifs que d'autres au niveau de la conductivité de la peau. Ceci rend donc problématique un modèle prédictif des « patrons significatifs » des réactions aux événements, ces patterns différant d'un individu à l'autre.
- De plus, chez un même individu, la variation du signal significatif d'une réaction physiologique à un événement cognitif ou émotionnel peut différer en fonction d'éléments relativement indiscernables comme un changement de température dans la pièce ou l'intensité de l'activité physique dans la période précédant l'enregistrement [Ward, Marsden, 2003]. Par exemple, dans certaines conditions, un événement pourrait provoquer une augmentation de 30% du GSR d'un individu. Dans d'autres circonstances, ce même événement aurait produit une variation de 60% du GSR. En d'autres termes, on ne peut créer un modèle physiologique d'un apprenant, valable a posteriori, qui mettrait en relation des signaux physiologiques caractéristiques et ses états cognitif, émotionnel ou motivationnel. Cela pose donc un énorme problème de fiabilité pour un processus d'adaptation en temps réel basé sur un modèle de

l'apprenant prédictif mais cette procédure garde son intérêt dans le cas de l'analyse d'une session d'apprentissage après coup.

### **Résoudre le problème de variabilité des données avec un modèle d'apprenant dynamique multimodal**

Si l'utilisation d'un modèle de l'apprenant prédictif apparaît inappropriée, cela ne signifie pas pour autant que les données physiologiques ne peuvent être exploitées dans un processus d'adaptation en temps réel dans les STI.

En effet, le modèle de l'apprenant n'est pas toujours vu comme une structure de données que l'on mettrait périodiquement à jour. Des recherches, menées notamment par les membres du laboratoire ARIES au Canada [McCalla et al., 2000], ont proposé de plutôt considérer ce module des STI comme une action, c'est-à-dire une fonction à calculer lorsque nécessaire. On parle ici de modèle de l'apprenant dynamique ou fonctionnel (*Active Learner Modelling*). Cette approche est mieux adaptée pour mesurer des données physiologiques.

Le module de modélisation dynamique de l'apprenant approprié à ce problème prendrait donc un ensemble d'informations provenant des capteurs physiologiques, dans une période de temps limitée. Ces données pourraient alors être filtrées et traitées (par exemple prendre le pourcentage de variabilité plutôt que le signal intégral). La fonction « *modèle de l'apprenant* » devrait nécessairement considérer d'autres canaux d'informations synchrones (événements d'interactions homme-machine, webcam), ces derniers pouvant également avoir subi un traitement (exemple : « d'après la webcam, l'apprenant est en train de sourire »). L'approche multimodale n'apparaît donc pas comme une option mais une nécessité.

Toutes les données en entrée seraient alors utilisées par un module de décision (par exemple un système à base de règle). A la manière du cerveau humain, ce dernier considérerait la pertinence de chacune des sources d'informations par rapport à l'ensemble tout en prenant également en compte des informations relatives au profil classique de l'apprenant (sa culture ou encore son sexe). La fonction « *modèle de l'apprenant* » pourrait

alors émettre une description concernant l'état émotionnel, motivationnel et cognitif de l'apprenant. La figure 46 illustre un tel processus.

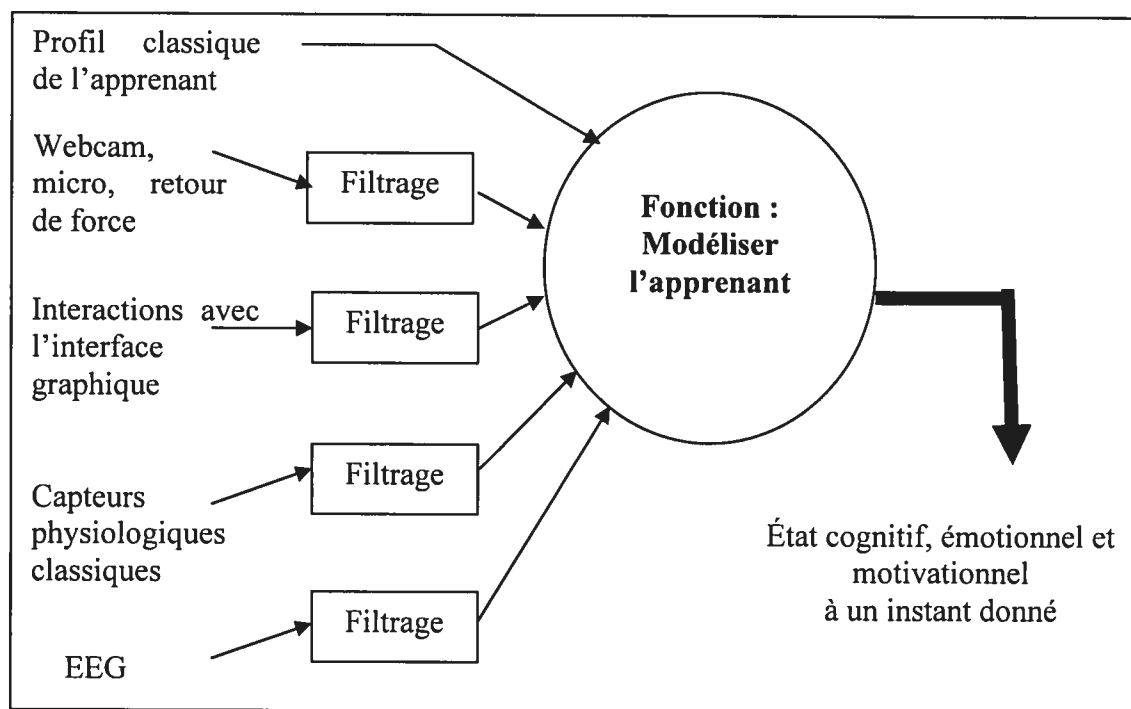


Figure 46. Modélisation dynamique de l'apprenant pour l'intégration de données physiologiques

Si notre approche nous semble tout à fait réalisable, de plus amples travaux semblent néanmoins nécessaires.

### Le particularisme des signaux du EEG

Comme on le voit sur la figure 46, nous considérons l'EEG différemment des autres capteurs physiologiques car les signaux qu'on en obtient présentent certaines particularités.

L'utilisation du EEG fournit en effet des données qui sont directement et partiellement interprétables. Une présence significative d'ondes Alpha nous indique par exemple que l'individu peut se trouver soit dans un état de concentration, de méditation, ou de réactivité; une présence significative d'ondes Gamma souligne quant à elle une phase de traitement cognitif ou d'apprentissage [Demos, 2005] : plusieurs autres ondes cérébrales peuvent apporter des informations utiles pour l'adaptation dans un système de e-Learning.



Cette interprétation s'applique en tout temps et à tout individu à l'inverse, comme on l'a vu de signaux physiologiques classiques qui sont particulièrement volatiles. L'explication à cela réside dans le fait que les pensées/réflexions d'un individu affectent systématiquement son activité cérébrale. Les réactions physiologiques classiques (évolution de la température, de la conductivité de la peau...) qui en découlent, varient quant à elles d'un individu à l'autre, d'une période à l'autre et en fonction de nombreux autres facteurs.

L'activité captée par un EEG peut ainsi confirmer (ou infirmer) si une réaction physiologique est liée à l'activité d'apprentissage. Elle peut également permettre de déterminer la causalité de celle-ci mais aussi mettre en avant des phénomènes qui ne seraient pas forcément détectés par d'autres signaux physiologiques ou ne donnerait pas lieu à des événements aisément observables/identifiables : certaines personnes sont plus expressives que d'autres quant à leurs émotions ou à leur niveau de concentration (mimiques faciales), à leur niveau d'anxiété (interactions homme-machine),...

Cependant, comme pour tous les autres signaux physiologiques, les signaux obtenus par un EEG sont également marqués par la présence de bruit parfois difficilement identifiable (comme par exemple une pensée non en lien avec l'activité). Il est donc là encore nécessaire de faire corroborer les signaux du EEG avec d'autres sources d'informations. On doit donc inclure l'analyse EEG dans une approche plus générale, nécessairement multimodale. C'est uniquement de cette manière que nous pouvons en extraire une signification utilisable pour une adaptation temps réel dans un STI.

En résumé, comme nos travaux l'ont montré, la présence significative d'ondes particulières dans les signaux d'EEG va aider fortement à déterminer la causalité (affective et/ou cognitive) de signaux provenant des autres canaux de notre processus multimodale. L'analyse EEG peut également mettre en évidence que des éléments perçus dans d'autres canaux et jugés de prime abord intéressants ne sont pas significatifs en réalité.

### **L'aspect physiquement intrusif**

Si l'intérêt du EEG au sein des mécanismes d'adaptation d'un STI nous apparaît évident, l'encombrement et la technicité de l'installation des électrodes pour obtenir un

signal exploitable (utilisation de gel conducteur, nécessité d'avoir une résistance électrique à un faible niveau après la pause des électrodes) pose un sérieux frein à l'emploi du EEG avec un STI dans des conditions réelles d'expérimentation (c'est-à-dire hors laboratoire).

Vu l'état des recherches dans ce domaine, on peut toutefois espérer que des solutions matérielles moins encombrantes et complexes d'utilisation voient le jour dans un futur relativement proche.

### **5.3. Résumé des résultats de nos deux évaluations**

Dans notre première étude, nous avons cherché à mettre en évidence l'aspect motivationnel de la conception de notre prototype de MOCAS qui visait à encourager la prise de décision et le sentiment de liberté des apprenants. 32 élèves de 10 ans de moyenne d'âge ont donc utilisé notre prototype. L'emploi de l'échelle de motivation situationnelle (SIMS, [Guay et al., 2000]) a mis en évidence un effet positif de notre prototype sur la motivation des élèves à suivre un cours d'histoire. Pour le cas où un cours prendrait la forme d'une session de MOCAS, on a observé une hausse sensible de la motivation intrinsèque et de la régulation identifiée pour l'activité (bons types de motivation) ainsi qu'une légère baisse de la régulation externe (mauvais type de motivation).

La deuxième étude où nous effectuons une analyse exploratoire de l'usage de données physiologiques en vue de détecter la motivation nous permet d'aborder plusieurs points. En premier lieu, notre prototype semble tout autant convenir à une population nettement plus âgée que dans la première étude (moyenne d'âge d'environ 27 ans). Les personnes évaluées reconnaissent à une forte majorité que l'information présentée par l'intermédiaire de notre prototype est plus motivante que s'ils avaient pris connaissance de ces mêmes données au moyen d'un site Web.

Par ailleurs, nous avons remarqué nombre de relations entre des événements se produisant dans la session d'apprentissage et des changements physiologiques, ce qui rend cette méthode de collecte d'information en vue d'adaptation en temps réel particulièrement séduisante.

Nous avons pu mettre en évidence grâce aux capteurs physiologiques des états émotionnels et motivationnels. Toutefois la création d'un modèle physiologique de l'apprenant apparaît plus difficile. L'utilisation de modèle de l'apprenant dynamique et multimodal serait une solution à nos yeux beaucoup plus souhaitable.

## Chapitre 6. Conclusion

### 6.1. Contributions

Cette recherche avait pour but d'identifier des recommandations à faire pour concevoir des systèmes de e-Learning capables d'entraîner de la motivation et, pour la première fois, de tenir compte des particularités culturelles des apprenants afin de s'y adapter. Les contributions de cette thèse en vue de l'amélioration des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) sont multiples :

- nous avons développé un modèle de flots d'influence au sein des individus qui pourra servir à améliorer la modélisation des apprenant dans les systèmes de e-Learning.
- en nous inspirant de la théorie de l'autodétermination [Ryan, Deci, 2000a; Ryan, Deci, 2000b; Ryan, Deci, 2002], nous avons proposé trois recommandations motivationnelles à prendre en compte durant la phase de conception. Ainsi, dans un but motivationnel, nous recommandons de créer des systèmes de e-Learning :
  - (1) qui encouragent la liberté ainsi que la prise de décision des apprenants;
  - (2) qui fournissent de l'encadrement pédagogique mais seulement quand cela s'avère nécessaire et sans porter atteinte à la première recommandation et enfin;
  - (3) qui donnent la possibilité à plusieurs apprenants de partager une même expérience d'apprentissage.
- nous avons proposé une architecture modulaire de système de e-Learning, basée sur ces trois recommandations.
- nous avons développé l'idée de créer des systèmes de e-Learning culturellement conscients appelés CAWAS. Cette idée s'inspire du concept d'intelligence culturelle [Earley, Mosakowski, 2004] et l'architecture modulaire d'un tel système s'articule autour d'un agent culturellement intelligent, capable d'adapter culturellement ses interactions.

- Dans le cadre de nos recherches sur les systèmes culturellement conscients que nous venons de présenter, nous avons proposé une méthodologie pour représenter les spécificités culturelles d'un apprenant.
- La représentation des caractéristiques culturelles des apprenants est à la base de deux processus culturels : l'un concernant l'adaptation de contenu multimédia et l'autre visant à sélectionner la meilleure stratégie pédagogique pour un apprenant.
- Nous avons implanté un prototype de plateforme de e-Learning multi-agents. Ce prototype, nommé MOCAS pour « *MOtivational and Culturally Aware System* », a été conçu sur la base des deux architectures modulaires que nous avons obtenues précédemment. Le prototype est par ailleurs développé selon une approche modulaire de manière à le rendre facilement évolutif et réutilisable pour d'autres études portant sur d'autres problématiques.
- Des outils auteurs pour faciliter la création de cours pour notre prototype ont été développés. Ils permettent de définir et structurer la connaissance d'un domaine d'apprentissage, de répartir ces connaissances entre différents agents pédagogiques présents dans notre prototype et de créer l'environnement 3D dans lequel l'activité d'apprentissage va se dérouler.
- Dans une première étude, nous avons mis en évidence que des élèves ressentent une motivation de meilleure qualité pour un cours d'histoire si celui-ci a lieu dans le cadre d'un système MOCAS plutôt que dans un cadre classique. Nous avons également remarqué que cela est en partie causé par le sentiment de liberté qu'ils ressentent et la capacité de prise de décision accrue qui leur est donnée dans le prototype de MOCAS.
- Dans une seconde étude, nous avons confirmé que des données physiologiques pouvaient être utilisées pour améliorer la détection de la motivation durant une activité d'apprentissage. L'avantage d'utiliser ce genre de données réside dans le fait que leur mesure ne nécessite pas d'interrompre une session d'apprentissage.

- Nous avons mis en évidence que l'utilisation d'un électroencéphalogramme (EEG) pouvait apporter un gain très intéressant à l'emploi de données physiologiques car, à l'inverse de mesures plus classiques, l'analyse de ses signaux peut informer sur la causalité (emotion, cognition) à l'origine du changement d'état physiologique. L'EEG peut également pointer des changements d'état qui passeraient inaperçus sans son utilisation. L'usage de tels capteurs dans un cadre non expérimental demeure tout de même problématique, du fait de la complexité de sa mise en œuvre.
- Si l'on désire faire de l'adaptation en temps réel, nous avons remarqué que l'utilisation de modèle prédictif pour traiter des données physiologiques n'était pas une solution très adéquate du fait que ces données se caractérisent par de fortes variations intra et inter individuelles. La mise au point d'un modèle de l'apprenant actif et multimodale apparaît quant à lui prometteur même si des recherches complémentaires sur ce sujet seront nécessaires.

## 6.2. Travaux futurs

Nos travaux ont ouvert un certain nombre de voies pour des recherches et développements futurs. En voici quelques exemples :

- Donner la capacité aux avatars de manifester des émotions. On pourrait également leur donner la possibilité de produire certains gestes (montrer un objet par exemple) et d'avoir un langage corporel, élément qui varie en fonction des cultures.
- Améliorer l'intelligence des agents pédagogiques et leur capacité à travailler en équipe. Leur comportement individuel pourrait être raffiné jusqu'à ce qu'ils manifestent une forme de personnalité. Leur fonctionnement interne pourrait se baser sur différentes techniques (raisonnement à base de règles, algorithmes génétiques, apprentissage machine...). La communication se faisant par l'intermédiaire du langage ACL, des agents ayant un fonctionnement différent pourrait tout de même collaborer.

- Réfléchir à des mécanismes permettant de faciliter les interactions entre apprenants humains, conformément à notre troisième recommandation motivationnelle.
- Faciliter la création de stratégies pédagogiques en développant un outil auteur pour les concevoir : plus notre système disposera de stratégies pédagogiques, plus il sera riche et adaptable à l'apprenant. L'outil développé devra par ailleurs disposer d'un langage permettant de définir les différentes actions composant la stratégie. On pourrait pour cela s'inspirer de langages de scripts déjà utilisés dans les jeux vidéo.

Des développements pour améliorer l'efficacité de même que la réutilisation de notre système MOCAS sont également prévus. On veut ainsi :

- Développer des modules pour augmenter les capacités de notre système, par exemple pour obtenir des données provenant de webcams ou autres senseurs externes.
- Convertir les patrons culturels dans un format XML.
- Améliorer les outils auteurs actuellement disponibles pour enrichir les environnements d'apprentissage et augmenter les possibilités d'interaction avec l'utilisateur.

## Bibliographie

- Aïmeur, E., Frasson, C. Lalonde, M. (2001). The role of conflicts in the learning process. *ACM Journal of SIGCUE Outlook*, Special interest Group in Computer Uses in Education, vol. 27 (3), pp. 12-27.
- Aleven, V., McLaren, B., Roll, I., Koedinger, K. (2004). Toward tutoring help seeking: applying cognitive modeling to meta-cognitive skills. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2004)*, Springer-Verlag LNCS 3220, Maceïo, Alagoas, Brésil, pp. 227-239.
- Alternmüller, E.O, Münte, T.F., Gerloff, C. (2005). Neurocognitive functions and the EEG. *Electroencephalography, basic principles, clinical applications, and related fields* (5th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 661-682.
- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology*, 84. pp. 261-271.
- Atkinson, J.W. (1966). Motivational determinants of risk-taking behavior. In J.W. Atkinson & J.T. Feather (Eds.), *A theory of achievement motivation*, New York: Wiley. pp.11-31.
- Baker, R., Corbett, A.T., Koedinger, K.R. (2004). Detecting student misuse of Intelligent Tutoring Systems. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2004)*, Springer-Verlag LNCS 3220, Maceïo, Alagoas, Brésil, pp. 531-540.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: a social-cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bandura, A. (1994). Self-efficacy. *Encyclopedia of human behavior*, vol. 4, San Diego, CA: Academic Press. pp. 71-81.
- Bandura, A. (2000). Guide for constructing self-efficacy scales. Unpublished Manuscript, 2005.
- Bempechat, J., Elliott, J. (2002), *Achievement motivation in culture and context: Understanding children's learning experiences*, New Directions in Child and Adolescent Development. San Francisco, CA: Jossey-Bass.



- Biggs, J. B. (2001). Teaching across cultures. In F. Salili, C. Chi-Yue and H. Ying-Yi (Eds.), *Student Motivation: the Culture and Context of Learning*. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publisher, pp. 293-308.
- Blanchard, E., Chalfoun, P., Frasson, C. (2007). Towards advanced learner modeling: discussions on quasi real-time adaptation with physiological data. 7th IEEE conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007), Niigata, Japan.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2007a). Cross-cultural adaptation in eLearning. In T. Kidd and H. Song (Eds), *Handbook of Research on Instructional Systems & Technology*, Hershey, PA: Idea Group Publishing, Inc, parution prévue en automne 2007.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2007b - soumis). Conception et évaluation motivationnelle d'un système d'EIAO inspiré des jeux vidéo Soumis à *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, numéro spécial sur les dimensions émotionnelles de l'interaction en EIAH.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2006a). Faciliter la création d'environnements virtuels d'apprentissage s'inspirant des jeux vidéo. *International Symposium on Technologies of Information and Communication in Education for Engineering and Industry (TICE2006)*, Toulouse, France.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2006b). Motivation and evolutionary pedagogical agents. Workshop on "Motivational and Affective Issues in ITS". In conjunction with *Intelligent Tutoring Systems (ITS2006)*, Jhongli, Taiwan. June 2006.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2006c). Easy creation of game-Like virtual learning environments. Workshop "Teaching with Robots and Agents". In conjunction with *Intelligent Tutoring Systems (ITS2006)*, Jhongli, Taiwan. June 2006.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2005a). Making Intelligent Tutoring Systems culturally aware: the use of Hofstede's cultural dimensions. *International Conference in Artificial Intelligence (ICAI2005)*, Las Vegas, USA. June 2005.
- Blanchard, E., Frasson, C. (2005b). Amélioration de la motivation par support à l'autonomie et prise en compte des cultures dans les systèmes de e-learning. In Samuel Pierre (Ed.), *Développement, Intégration et Évaluation des Technologies de Formation et d'Apprentissage*, Polytechnic International Press, Montréal, Canada, pp. 293-330.

- Blanchard, E., Frasson C. (2004). An autonomy-oriented system design for enhancement of learner's motivation in e-Learning. International Conference on Intelligent Tutoring System (ITS2004), Springer-Verlag LNCS 3220 , Maceio, Brazil, pp. 34-44.
- Blanchard, E., Razaki, R., Frasson, C. (2005). Cross-cultural adaptation of e-Learning: a methodology. International Conference on e-Learning (ELEARN2005), Vancouver, Canada.
- Bloom, L., Perlmutter, J., Burrell, L. (1999). The general educator: applying constructivism to inclusive classrooms. *Intervention in School and Clinic*, vol. 34(3), pp. 132-137.
- Bond M. H., Leung, K., Au, A., Tong, K.-K., Reimel de Carrasquel, S., Murakami, F., Yamaguchi, S., Bierbrauer, G., Singelis, T. M., Broer, M., Boen, F., Lambert, S. M., Ferreira, M. C., Noels, K. A., Van Bavel, J., Safdar, S., Zhang, J., Chen., L., Solcova, I., Stetovska, I. (2004). Culture-level dimensions of social axioms and their correlates across 41 cultures. *Journal of cross-cultural psychology*, vol. 35(5), pp. 548-570.
- Bosma, W., André E. (2004). Exploiting emotions to disambiguate dialogue acts. *Intelligent User Interfaces*, pp. 85-92.
- Boucsein, W. (1992). *Electrodermal activity*. New York: Plenum Press.
- Bratman, M. E. (1987). *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Cambridge, MA: Harvard.
- Buchanan, B.G., Shortliffe, E.H. (1985). *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Addison-Wesley, Reading, MA. Disponible en ligne sur :  
<http://www.aaai.org/Classic/Buchanan/buchanan.html>
- Butler, S., Glass, A. (1987). Individual differences in the asymmetry of alpha activation. *Individual differences in Hemispheric Specialization*, A. Glass, New-York: Plenum Press, pp. 103-120.
- Carbonell, J. Jr. (1979). *Subjective understanding: computer models of belief systems*. Thèse de doctorat, Université de Yale. Computer Science Dept.
- Cassady, J. C., Mohammed A., Mathieu L. (2004). Cross-cultural differences in test perceptions: women in Kuwait and the United States. *Journal of cross-cultural psychology*, vol. 35(6), pp. 713-718.

- Chaffar, S., Frasson, C. (2004). Inducing optimal emotional state for learning in Intelligent Tutoring Systems. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2004)*, Springer-Verlag LNCS 3220, Maceïo, Alagoas, Brésil, pp. 45-54.
- Chalfoun, P., Blanchard, E., Frasson, C. (2007 - soumis). Vers une modélisation accrue des apprenants dans un STI : discussion sur l'intégration de données physiologiques. Soumis à *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, numéro spécial sur les dimensions émotionnelles de l'interaction en EIAH.
- Chan, T.W. (1995). Artificial agents in distance learning. *International Journal of Educational Telecommunications*, vol. 1 (2-3), pp. 263-282
- Chirkov, V. I., Ryan, R. M. (2001). Parent and teacher autonomy-support in Russian and U.S. Adolescents: Common effects on well-being and academic motivation. *Journal of Cross Cultural Psychology*, vol. 32, pp. 618-635.
- Chirkov, V. I., Ryan, R. M., Kim, Y., Kaplan, U. (2003). Differentiating autonomy from individualism and independence: A self-determination theory perspective on internalization of cultural orientations and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 8 (1). 97-110
- Clancey, W.J. (1983). GUIDON. *Journal of Computer-Based Instruction*, vol. 10 (1), pp. 8-14.
- Conati, C. (2002). Probabilistic assessment of user's emotions in educational games. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, special issue on "Merging Cognition and Affect in HCI", vol. 16 (7-8), pp. 555-575.
- Conati, C., Chabbal, R., Maclaren, H. (2003). A Study on using biometric sensors for monitoring user emotions in educational games. *Workshop on Assessing and Adapting to User Attitudes and Affect: Why, When and How? In conjunction with User Modelling 2003*.
- Connell, J. P., Wellborn J. G. (1991). Competence, autonomy and relatedness: a motivational analysis of self-system processes. In R. Gunnar & L. A. Sroufe (Eds.), *Minnesota Symposia on child psychology*, vol. 23, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 43-77.

- Corno, L. (1993). The best-laid plans: modern conceptions of volition and educational research. *Educational Researcher*, vol. 22. pp 14-22.
- Covington, M. L. (1992). *Making the grade. a self-worth perspective on motivation and school reform*. New York: Cambridge University Press.
- Criswell, E. (1995). *Biofeedback and somatics: toward personal evolution*. Novato: CA: Freeperson Press.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, vol. 16, pp. 297-334.
- Csikszentmihalyi, M., Csikszentmihalyi, I. S. (1988). *Optimal experience: psychological studies of flow in consciousness*. New York: Cambridge University Press,
- Csikszentmihalyi, M. (1988). The flow experience and its significance for human psychology. In M. Csikszentmihalyi & I. S. Csikszentmihalyi (Eds.), *optimal experience: psychological studies of flow in consciousness*, New York: Cambridge University Press, pp 15-35.
- Del Soldato, T. (1994). *Motivation in tutoring systems*. Thèse de doctorat. Technical Report CSRP 303, School of Cognitive and Computing Sciences, Université du Sussex.
- Del Soldato, T., Du Boulay, B.(1995). Implementation of motivational tactics in tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 6(4). pp. 337-378.
- Delwiche, A. (2003). *MMORPG's in the college classroom*. Trinity University. Accessible en ligne sur : <http://www.nyls.edu/docs/delwiche.pdf>
- Demos, J. (2005). *Getting started with neurofeedback*, New York: Norton & Compagny.
- Denis, G., Jouvelot, P. (2005). *Motivation-Driven Educational Game Design: Applying Best Practices to Music Education*. ACE 2005, Valencia, Spain.
- De Vicente, A. and Pain, H. (2002). Informing the detection of the students' motivational state: An empirical study. In S.A. Cerri, G. Gouardères, & F. Paraguaçu (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Berlin: Springer-Verlag LNCS2363, pp. 933-943.
- De Vicente, A. (2003). *Towards tutoring systems that detect students' motivation: an investigation*. Thèse de doctorat, Université de Edimburgh.

- De Vries, E., Baillé, J. (2006). Apprentissage : référents théoriques pour les EIAH. In M. Grandbastien & J-M. Labat (Eds), environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Paris : Hermès, collection IC2, pp.27-45.
- Dewey, J. (1913). *Interest and Effort in Education*. Boston, MA: Riverside Press.
- Dickes, P., Tournois, J., Flieller, A., Kop, J.-L. (1994). *La psychométrie*. Paris : Presses universitaires de France.
- Doo, L., H. (2004). Cross cultural differences in online learning motivation. *Educational Media International*, vol. 41(2), pp.163-175.
- Dubois, D., Nkambou, R., Hohmeyer, P. (2006). How “consciousness” allows a cognitive tutoring agent make good diagnosis during astronauts’ training. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006)*, Springer-Verlag LNCS 4053, Jhongli, Taiwan, pp. 154-163.
- Duffy, F.H., Bartels, P.H., Burchfiel, J.L. (1981). Significance probability mapping: an aid in the topographic analysis of brain electric activity. *Electroencephalography and Clinincal Neurophychology*, vol. 51, pp. 445-462.
- Earley, C., Mosakowski, E. (2004). Cultural Intelligence. *Harvard Business Review*, pp. 139-146.
- Eccles, J. S., Wigfield A., Schiefele U. (1998). Motivation to succeed. N. Eisenberg (Eds), *Handbook of child psychology*, vol. 3, social, emotional, and personality development (5th ed.), New York: Wiley, pp. 1017-1095.
- Eccles, J. S., Wigfield A. (2002). *Development of achievement motivation*. San Diego, CA: Academic Press.
- Engel, A.K., Singer W. (2001). Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in cognition and science*, vol. 5, pp. 16-25.
- Fischer, R., Smith P. (2003). Reward allocation and culture: a meta-analysis. *Journal of cross-cultural psychology*, vol. 34(3), pp. 251-268.
- Flink, C., Boggiano A. K., Barrett M. (1990). Controlling teaching strategies: undermining children’s self-determination and performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 59. pp. 916-924.
- Ford, M.E., Nichols, C.W. (1991). Using goal assessments to identify motivational patterns and facilitate behavioural regulation and achievement. In M. L. Maehr & P. R.

- Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement*, Greenwich, CT: JAI Press, vol. 7, pp. 51–84.
- Garcia-Prieto, P., Scherer, K. R. (2006). Connecting social identity theory to cognitive appraisal theory of emotions. In R. Brown & D. Capozza (Eds.), *Social Identities: Motivational, Emotional, Cultural Influences*. Psychology Press: East Sussex.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gilbert, D., Aparicio, M., Atkinson, B., Brady, S., Ciccarino, J., Grosz, B., O'Connor, P., Osisek, D., Pritko, S., Spagna, R., Wilson L. (1995). The role of intelligent agents in the information infrastructure. IBM Report.
- Guay, F., Vallerand, R. J., Blanchard, C. (2000). On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The situational motivation scale (SIMS). *Motivation and Emotion*, vol. 24(3), pp.175-213.
- Hämäläinen, W., Vinni, M. (2006). Comparison of machine learning methods for Intelligent Tutoring Systems. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006)*, Springer-Verlag LNCS 4053, Jhongli, Taiwan, pp. 525-534.
- Hofstede, G. (1980). *Culture's consequences: international differences in work-related values*. Beverly Hills, CA: Sage. (voir aussi [www.geert-hofstede.com](http://www.geert-hofstede.com)).
- Hofstede, G. (2001). *Culture's consequences: comparing values, behaviors, institutions, and organizations across nations* (2<sup>nd</sup> ed.), London: Sage.
- Holmes, B., Tangney, B., FitzGibbon, A., Savage, T. (2001). Communal constructivism: students constructing learning for as well as with others. 12th International Conference of the Society for Information Technology & Teacher Education (SITE 2001), Charlottesville, VA, USA, pp. 3114-3119.
- House, R.J., Hanges, P.J., Javidan, M., Dorfman, P., Gupta, V. (2004). *Culture, leadership and organizations: The Globe Study of 62 Societies*, Thousand Oaks, Ca: Sage Publications.
- Jasper, H.H. (1958). The 10-20 electrode system of the international federation. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*, vol. 10, p. 371-375.
- Javidan, M., House, R., Dorfman, P., W., Sully de Luque, M. (2006). Conceptualizing and measuring cultures and their consequences: a comparative review of GLOBE's and

- Hofstede's approaches. *Journal of International Business Studies*, vol. 37, pp. 897-914.
- Jennings N. R. (2001). An introduction to multiagent systems. Tutorial session of the International Conference on Autonomous Agents, Montréal.
- Johnson, W.L. (1999). Pedagogical Agents. Invited paper at the International Conference on Computers in Education. Also appears in the italian AI society magazine.
- Johnson, W. L., Vilhjálmsón, H., Marsella, S. (2005). Serious games for language learning: how much game, how much A.I.? International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2005), Amsterdam, the Netherlands, pp. 306-313.
- Johnson, W. L., Mayer, R. E., André, E., Rehm, M. (2005b). Cross-cultural evaluation of politeness in tactics for pedagogical agents. International Conference on Artificial Intelligence in Education. Amsterdam, the Netherlands, pp.298.305.
- Jondahl, S. Morch, A. (2002). Simulated pedagogical agents in a virtual learning environment. Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL 2002), Boulder, Colorado, USA, pp. 531.
- Kashima Y. (2000). Conceptions of culture and person for psychology. *Journal of cross-cultural psychology*, vol. 31(1), pp. 14-32.
- Kay, J., Maisonneuve, N., Yacef, K., Reimann, P. (2006). The big five and visualisations of team work activity. International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006), Springer-Verlag LNCS 4053, Jhongli, Taiwan, pp. 197-206.
- Kelly, D., Weibelzahl, S. (2006). Raising confidence levels using motivational contingency design techniques. International Conference on Intelligent Tutoring System (ITS 2006), Springer-Verlag, LNCS 4053, Jhongli, Taiwan. pp. 535-544.
- Kim-Prieto C., Fujita F., Diener E. (2004). Culture and structure of emotional experience. Unpublished Manuscript, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Kirkman, B. L., Lowe, K.B., Gibson, C. B. (2006). A quarter century of culture's consequences: a review of empirical research incorporating Hofstede's cultural values framework. *Journal of International Business Studies*, vol. 37, pp. 285-320.
- Kohonen, T. (1990), The Self-Organizing Map. *Proceedings of IEEE*, vol. 78(9), pp.1464-1480.

- Kuhl, J. (1987). Action control: The maintenance of Motivational states. In F. Halisch & J. Kuhl (Eds), *motivation, intention and volition*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 279-307.
- Labat. J-M., Pernin, J.-P., Gueraud, V. (2006). Contrôle de l'activité de l'apprenant : suivi, guidage pédagogique et scénarios d'apprentissage. In M. Grandbastien et J-M. Labat (Eds), *environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Paris : Hermès, collection IC2, pp. 69-96.
- Labrou, Y., Finin, T. (1997). A proposal for a new KQML specification. Technical Report CS-97-03, Computer Science and Electrical Engineering Department, University of Maryland Baltimore County, Baltimore, MD 21250.
- Laguardia, J. G., Ryan, R. M. (2000). Buts personnels, besoins psychologiques fondamentaux et bien-être : théorie de l'autodétermination et applications. *Revue québécoise de psychologie*, vol. 21(2). Traduit par Albert Drouin, pp.281-304.
- Lang, P.J. (1995). The emotion probe. *American Psychologist*, vol. 50, no 5, pp. 372-385.
- Lesgold, A. M., Lajoie, S. P., Bunzo, M., Eggan, G. (1992). SHERLOCK: A coached practice environment for an electronics troubleshooting job. In J. Larkin & R. Chabay (Eds.), *computer assisted instruction and intelligent tutoring systems: shared issues and complementary approaches*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 201-238.
- Ley, R. (1994). An Introduction to the Psychophysiology of Breathing. *Journal of Biofeedback and Self-Regulation*, vol. 19(2).
- Liebert, R. M., Morris, L. W. (1967). Cognitive and emotional components of test anxiety: a distinction and some initial data. *Psychological reports*, vol. 20, pp. 975-978.
- Luckin, R., Du Boulay, B. (1999). Ecolab : the development and evaluation of a Vygotskian design framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 10, pp. 198-220.
- Lyons, M.J., Klünder, D., Tetsutani, N. (2004). Enhancing web-based learning by sharing Affective Experience, *The IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2004)*, Joensuu, Finland.
- Maes, P. (1995). Artificial life meets entertainment: life like autonomous agents. *Communications of the ACM*, vol. 38 (11), pp. 108-114.



- Marieb, E.N. (1995). *Human anatomy and physiology* (3rd ed.), Redwood City, CA: Benjamin/Cummings.
- Martinez-Miron, E., Harris, A., du Boulay, B., Luckin, R., Yuill, N. (2005). The role of learning goals in the design of ILEs: Some issues to consider. *International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam, the Netherlands, pp. 427-434.
- Maslow, A. H. (1970). *Motivation and Personality* (2nd. ed.). New York: Harper & Row.
- McCalla, G., Vassileva, J., Greer, J, Bull, S. (2000) *Active Learner Modelling*. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2000)*, Springer-Verlag LNCS 1839, Montreal, Canada, pp. 53-62.
- McQuiggan, S. W., Lester, J.C. (2006). Diagnosing Self-efficacy in Intelligent Tutoring Systems: an Empirical Study. *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Springer-Verlag, LNCS 4053, Jonghli, Taiwan, pp. 565-574.
- McSweeney B. (2002). Hofstede's model of national cultural differences and their consequences: a triumph of faith – a failure of analysis. *Journal of Human Relations*, vol. 55(1), pp. 89-118.
- Midgley, C., Maehr, M., Hruda, L., Anderman, E. (2000). *Manual for the Patterns of Adaptive Learning Scales (PALS)*. Ann Arbor, MI, University of Michigan.
- Minko, A, Gouardères, G. (2004). Towards qualitative accreditation with cognitive agents. *Intelligent Tutoring Systems (ITS 2004)*, Springer-Verlag LNCS 3220, Maceïo, Alagoas, Brésil, pp. 118-127.
- Mizoguchi, R., Bourdeau, J. (2004). Le rôle de l'ingénierie ontologique dans le domaine des EIAH. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, vol.11.
- Murray, T., Blessing, S., Ainsworth, S. (2003). *Authoring tools for advanced technology learning environments*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Myers, I. B., McCaulley, M. H., Quenk, N. L., Hammer, A. L. (1998). *MBTI Manual (A guide to the development and use of the Myers Briggs type indicator)*. Consulting Psychologists Press (3rd ed).

- Nicholls J. G. (1979). Development of perception of own attainment and causal attributions for success and failure in reading. *Journal of Educational Psychology*, vol. 71, pp. 94-99.
- Nkambou, R., Gauthier, G., Frasson, C. (1997). Un modèle de représentation des connaissances relatives au contenu dans un système tutoriel intelligent». *Sciences et Techniques Éducatives, International Journal*, vol. 4(3), HERMES, Paris, pp. 299-330.
- Oishi, S. (2004). Personality in culture : a neo allportian view. *Journal of Research in Personality*, vol. 38, pp. 68-74.
- O'Regan, K. (2003). Emotion and e-Learning. *Journal of Asynchronous Learning Network*, vol. 7(3), pp 78-92.
- Ortony, A., Clore, G., Collins, A. (1988). *The cognitive structure of emotions*, Cambridge University Press.
- Palke, A. (2004). *Brainathlon: Enhancing Brainwave Control Through Brain-Controlled Game Play*. Master Thesis. Mills College, Oakland, USA.
- Pearce, J. M. (2005). Engaging the learner: how can the Flow experience support e-Learning International Conference on e-Learning, Vancouver, Canada..
- Petri, H. L. (1996). *Motivation: theory, research and applications* (4th ed). Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Picard, R. (1997). *Affective computing*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Rao, A. S., Georgeff, M. P. (1995). BDI agents: from theory to practice. *First International Conference on Multiagent Systems*, San Francisco, pp. 312-319.
- Razaki, R. (2007) *CAMELEO : Cultural Adaptation Methodology for E-Learning Environment Optimization*. Mémoire de maîtrise à paraître courant 2007.
- Razaki, R., Blanchard, E., Frasson, C. (2006). On the definition and management of cultural groups of e-Learners. *International Conference on Intelligent Tutoring System (ITS2006)*, Springer-Verlag LNCS 4053, Jhongli, Taiwan, pp. 804-807.
- Rickel, J., Johnson, W.L. (2000). Task-oriented collaboration with embodied agents in virtual worlds. In J. Cassell, J. Sullivan, and S. Prevost (Eds.), *embodied conversational agents*, Boston: MIT Press.

- Rebolledo-Mendez, G., Du Boulay, B., Luckin, R. (2006). Motivating the learner: an empirical evaluation. International Conference on Intelligent Tutoring System, Springer-Verlag, LNCS 4053, Jhongli, Taiwan, pp. 545-554.
- Reeve, J. (2006). Thematic issue: autonomy, volitional motivation and wellness. *Journal of Motivation and Emotion*, vol. 30, pp. 257-258.
- Reeve, J., Jang, H., Carrell, D., Jeon, S., Barch, J. (2004). Enhancing Students' Engagement by Increasing Teachers' Autonomy Support. *Journal of Motivation and Emotion*, vol. 28(2), pp. 147-169.
- Rotter, J.B. (1966). Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. *Psychological Monographs*, vol. 33(1), pp. 300-303.
- Russell, S., Norwig, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2<sup>nd</sup> ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Ryan, R. M., Deci, E. L. (2002). Overview of Self Determination Theory: an organismic dialectical perspective. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds). *Handbook of Self Determination Research*. Rochester, NY: The University of Rochester Press.
- Ryan, R. M., Deci, E. L (2000a). Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions, *Contemporary Educational Psychology*, vol. 25, pp. 54-67.
- Ryan, R. M., Deci, E. L (2000b). Self Determination Theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development and well-being, *American Psychologist*, vol. 55, pp. 68-78.
- Ryan, R. M., Grolnick, W. S. (1986). Origins and pawns in the classroom: self-report and projective assessments of individual differences in children's perceptions. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 50, pp. 550-558.
- Ryan, R. M., Rigby S.,C., Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games: a self-determination theory approach. *Journal of Motivation and Emotion*, vol. 30, pp. 347-363.
- Salili, F., Chiu, C., Hong, Y. (2001.). *Student motivation: The culture and context of learning*. New York: Plenum Press.
- Shaver P. R., Schwartz J. C. (1992). Cross-cultural similarities and differences in emotion and its representation. In C.Z. Malatesta & C. Izard (Eds), *emotions in adult development*, pp. 319- 338. Beverly Hills, CA: Sage.

- Schank, R. C., Abelson, R. P. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding: an inquiry into human knowledge structures*, Hillsdale, NJ: L. Erlbaum.
- Scherer, K. R. (2000). Emotions as episodes of subsystem synchronisation driven by nonlinear appraisal processes. In M. D. Lewis & I. Granic (Eds), *Emotion, development and self-organization: Dynamic systems approaches to emotional development*, New York: Cambridge University Press, pp. 70-99.
- Scherer, K. R. (1997). The role of culture in emotion-antecedent appraisal. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 73 (5), pp. 902-922.
- Schwartz, M. S. (1995). *Breathing therapies. Biofeedback: A practitioner's guide* (2nd ed.), New-York: Guilford Press, pp. 525-559.
- Schwartz S. H (1992). Universals in the content and structure of values: theoretical advances and empirical tests in 20 countries. In M. P. Zanna (eds), *Advances in experimental social psychology*, vol. 25, pp. 1-65.
- Scollon, C.N., Diener, E., Oishi, S., Biswas-Diener, R. (2004). Emotions across cultures and methods. *Journal of cross-cultural psychology*, vol. 35(3), pp. 304-326.
- Searle, John. 1969. *Speech acts: an essay in the philosophy of language*. Cambridge, England: Cambridge University.
- Self, J. (1990). Bypassing the intractable problem of student modelling. In C. Frasson & G. Gauthier (Eds), *Intelligent Tutoring Systems: at the crossroad of artificial intelligence and education*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, pp.107-123.
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Ryan, R. M., Chirkov, V., Kim, Y., Wu, C., Demir, M., Sun, Z. (2004). Self-concordance and subjective well-being in four cultures. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, vol. 35, 209-223.
- Smith, P.B., Bond M. H. (1998). *Social psychology across cultures*. London: Prentice-Hall.
- Smith, P.B. (2006). When elephants fight, the grass gets tramped: the GLOBE and Hofstede projects. *Journal of International Business Studies*, vol. 37, pp. 915-921.
- Spielberger, C.D. (1966). *Anxiety and behavior*. New York: Academic Press.
- Tan, J., Beers, C., Gupta, R., Biswas, G. (2005). *Computer Games as Intelligent Learning Environments: A river Ecosystem Adventure*. International Conference on Artificial Intelligence in Education. Amsterdam, the Netherlands, pp. 646-653.

- Trevino, L. K., Webster, J. (1992). Flow in Computer-Mediated Communication. *Communications Research*, vol. 19(5), pp. 539-573.
- Triandis, H. C. (1995). Individualism and collectivism. San Francisco, CA: Westview Press.
- Traum, D., Rickel, J., Gratch, J., Marsella, S. (2003). Negotiation over tasks in hybrid human-agent teams for simulation-based training. *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent systems*. Melbourne, Australia, pp. 441-448.
- Turban, E., McLeanm, E., Wetherbe, J., Bolloju, N., Davidson, R. (2002). *Electronic Commerce, a Managerial Perspective*. Prentice Hall.
- Vassileva, J. (2004). Harnessing P2P in the classroom. *Intelligent Tutoring Systems (ITS2004)*, Springer-Verlag LNCS 3220, Maceio, Alagoas, Brésil, pp. 305-314.
- Wagner, H. (1999). *The Psychobiology of Human Motivation*. London, UK: Routledge
- Wang, H., Prendiger, H., Igarashi, T. (2004). Communicating emotions in online chat using physiological sensors and animated text. *Human Factors in Computer Systems (CHI2004)*, Vienna, Austria.
- Ward, R.D., Marsden, P.H. (2003). Physiological responses to different WEB page designs. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 59, pp. 199-212.
- Weiner, B. (1984). Principles for a theory of student motivation and their application within an attributional framework. In R. E. Ames and C. Ames (Eds), *motivation in education, vol1 : student motivation*, Orlando, FL, Academic Press. pp.15-38.
- Weiner, B. (1985). An attributional theory of achievement motivation and emotion. *Psychological Review*, vol. 92, pp. 548-573.
- Witten, I., Frank, E. (2005). *Data mining: practical machine learning tools and techniques* (2<sup>nd</sup> ed.). San Francisco, CA: Morgan Kaufman.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Wooldridge, M., Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: theory and practice. *The knowledge engineering review*, vol. 10(2), pp. 115-152.
- Zimmerman, B. J. (1989). A Social Cognitive View of Self Regulated Learning. *Journal of Educational Psychology*, vol. 81, pp. 329-339.

- URL1. E-gouvernement. Accessible en ligne à <http://fr.wikipedia.org/wiki/E-gouvernement> . Dernière consultation le 5 mars 2007.
- URL2. Théorie de l'autodétermination. Accessible en ligne à : <http://www.psych.rochester.edu/SDT/measures/index.html> . Dernière consultation le 26 mars 2007.
- URL3. FIPA ACL Message Structure Specification. Accessible en ligne à : <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html> . Dernière consultation le 17 mars 2007.
- URL4. FIPA Communicative Act Library Specification. Accessible en ligne à : <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.html> . Dernière consultation le 17 mars 2007.
- URL5. FIPA Interactions Protocol Specifications. Accessible en ligne à : <http://www.fipa.org/repository/ips.php3> . Dernière consultation le 17 mars 2007.
- URL6. Bio-feedback equipment and training: Thought Technology Ltd. Accessible en ligne à <http://www.thoughttechnology.com/> . Dernière consultation le 26 mars 2007.
- URL7. Site sur « les dimensions culturelles » proposées par Geert Hofstede. Accessible en ligne à : [http://www.geert-hofstede.com/geert\\_hofstede\\_resources.shtml](http://www.geert-hofstede.com/geert_hofstede_resources.shtml) . Dernière consultation le 18 mars 2007.